



**Universidade de Brasília - UnB
Faculdade UnB Gama - FGA
Curso de Engenharia de Energia**

**DESENVOLVIMENTO DE FERRAMENTA DE APOIO
PARA DIMENSIONAMENTO DE SISTEMA DE
GERAÇÃO FOTOVOLTAICA PARA CONSTRUÇÃO
SUSTENTÁVEL**

**Autora: Lunara Alves Fonseca Martins
Orientadora: Maria Vitória Duarte Ferrari
Coorientadora: Raquel Naves Blumenschein**

**Brasília, DF
2018**



LUNARA ALVES FONSECA MARTINS

**DESENVOLVIMENTO DE FERRAMENTA DE APOIO PARA DIMENSIONAMENTO
DE SISTEMA DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICA PARA CONSTRUÇÃO
SUSTENTÁVEL**

Monografia submetida ao curso de graduação em Engenharia de Energia da Universidade de Brasília, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Energia.

Orientadora: Dra. Maria Vitória Duarte Ferrari
Coorientadora: Dra. Raquel Naves Blumenschein

**Brasília, DF
2018**

CIP – Catalogação Internacional da Publicação*

Alves Fonseca Martins, Lunara.

Desenvolvimento de Ferramenta de Apoio para
Dimensionamento de Sistema de Geração Fotovoltaica
para Construção Sustentável/ Lunara Alves Fonseca
Martins. Brasília: UnB, 2018. 106 p.: il.; 29,5 cm.

Monografia (Graduação) – Universidade de Brasília
Faculdade do Gama, Brasília, 2018. Orientação: Maria Vitória
Duarte Ferrari.

1. modelo energético. 2. energia solar. 3. responsabilidade
socioambiental 4. Pisac I. Duarte Ferrari, Maria Vitória. II.
Desenvolvimento de Ferramenta de Apoio para
Dimensionamento de Sistema de Geração Fotovoltaica para
Construção Sustentável

CDU Classificação



DESENVOLVIMENTO DE FERRAMENTA DE APOIO PARA DIMENSIONAMENTO DE SISTEMA DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICA PARA CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL

Lunara Alves Fonseca Martins

Monografia submetida como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Energia da Faculdade UnB Gama - FGA, da Universidade de Brasília, em 05/07/2018 apresentada e aprovada pela banca examinadora abaixo assinada:

Profª Drª. Maria Vitória Duarte Ferrari, UnB/FGA
Orientadora

Profª Drª. Raquel Naves Blumenschein, UnB/FAU
Coorientadora

Prof Dr. Jorge Andrés Cormane Angarita, UnB/FGA
Membro Convidado

Prof Dr. Fábio Cordeiro de Lisboa, UnB/FGA
Membro Convidado

Brasília, DF
2018

Dedico este trabalho *in memoriam* ao meu pai, Gerciro Martins, e à minha mãe, Mágda Martins, com todo amor e gratidão por serem meus exemplos de vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, autor do meu destino, pelo dom da vida e por todas as bênçãos a mim concedidas durante toda a minha caminhada.

Ao meu pai Gerciro Martins, *in memorian*, pela determinação e luta na minha formação como ser humano.

À minha mãe Mágda Martins, por sempre estar ao meu lado, me apoiando e me incentivando, com seu amor incondicional, carinho e cumplicidade, e ainda por ser a minha base, me fazendo acreditar que sou capaz de alcançar meus objetivos.

Ao meu irmão, Luciano Markson, por ter sido sempre minha fonte de inspiração e aquele em que sempre me espelhei como ser humano e profissional.

Ao meu melhor amigo e companheiro Silvio Moreira, por me apoiar em todos os momentos, me ajudando a construir e finalizar essa etapa da minha vida, com imenso carinho e paciência.

A todos meus amigos que me incentivaram e me apoiaram em todos os momentos e circunstâncias.

À minha querida orientadora Prof^a. Dr^a. Maria Vitória, por toda a paciência e ensinamentos, acadêmicos e profissionais, sempre disposta a ajudar e me encaminhar da melhor forma possível, e também por todo o carinho recebido durante a minha jornada acadêmica.

À minha coorientadora Prof^a. Dr^a. Raquel Blumenschein, pelos seus ensinamentos que foram essenciais para a consolidação deste trabalho. Além da oportunidade que me foi dada com a disponibilidade do PISAC para a realização do meu estudo de caso, com todos os dados necessários.

Por fim, agradeço a todo o corpo docente da Universidade de Brasília, por todo o aprendizado adquirido e formação profissional, e por todos aqueles que, de forma direta ou indireta, contribuíram e fizeram parte desta etapa decisiva em minha vida.

Lunara Alves Fonseca Martins

“Por vezes sentimos que aquilo que fazemos não é senão uma gota de água no mar. Mas o mar seria menor se lhe faltasse uma gota.”

Madre Teresa de Calcutá

RESUMO

Em um cenário de crescimento da demanda por energia elétrica ao lado da escassez dos recursos naturais expandiu-se a concepção de consciência ambiental por meio da busca por fontes alternativas de geração de energia elétrica. A utilização da energia solar fotovoltaica para a geração distribuída é uma forma de uso descentralizado, sendo uma maneira de garantir o crescimento energético de maneira harmônica com o meio ambiente. Este trabalho visa desenvolver uma ferramenta de apoio à tomada de decisão para sistemas de geração solar distribuída, com uso da tecnologia fotovoltaica. A metodologia utilizada para estruturar a ferramenta foi o *Balanced Score Card* evidenciando os objetivos, indicadores, metas e iniciativas estratégicas. É feita a descrição e análise dos principais componentes constituintes do sistema fotovoltaico conectado à rede, sistematizando os passos que constituem a metodologia para a implementação desse sistema. Foi desenvolvida uma árvore de decisões com os critérios e possibilidades para o atendimento da ferramenta. A ferramenta proposta foi desenvolvida com base no referencial teórico e tendo como estudo de caso o projeto do Parque de Inovação e Sustentabilidade do Ambiente Construído em implantação no campus Darcy Ribeiro da Universidade de Brasília, com análises econômicas simplificadas quanto ao retorno do investimento e comparação com o sistema convencional, além da viabilidade técnica de dimensionamento do projeto. Foi constatado que a inserção do sistema fotovoltaico no PISAC é um investimento economicamente viável, com um tempo de retorno de aproximadamente cinco anos.

Palavras-chave: modelo energético, energia solar, responsabilidade socioambiental, PISAC.

ABSTRACT

In a scenario of growing demand for electricity along with the scarcity of natural resources, the concept of environmental awareness has been expanded through the search for alternative sources of electric energy generation. The use of photovoltaic solar energy for distributed generation is a decentralized form of use, being a way to guarantee the energy growth in a harmonic way with the environment. This work aims to develop a tool to support decision making for distributed solar generation systems using photovoltaic technology. The methodology used to structure the tool was the Balanced Score Card showing the objectives, indicators, goals and strategic initiatives. A description and analysis of the main constituent components of the photovoltaic system connected to the grid is made, systematizing the steps that constitute the methodology for the implementation of this system. A decision tree was developed with the criteria and possibilities for the service of the tool. The proposed tool was developed based on the theoretical framework and based on a case study of the Park of Innovation and Sustainability of the Built Environment in the Darcy Ribeiro campus of the University of Brasília, with simplified economic analysis of the return on investment and comparison with the conventional system, in addition to the technical feasibility of project design. It was verified that the insertion of the photovoltaic system in PISAC is an economically viable investment, with a return time of approximately five years.

Key words: energetic model, solar energy, self-sustainability, social and environmental responsibility, PISAC.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1-1: Esquema metodológico.	9
Figura 2-1: Produção de eletricidade em 2014 (3900 TWh).	10
Figura 2-2: Capacidade instalada do SIN 2016/2021.	13
Figura 2-3: Sistema de Transmissão – Horizonte 2017.	17
Figura 2-4: Total diário da irradiação no plano inclinado na latitude. Média anual.	18
Figura 2-5: Célula de silício monocristalino.	21
Figura 2-6: Célula de silício policristalino.	21
Figura 2-7: Filme fino, silício amorfo.	22
Figura 3-1: Praça de Protótipos e Edifício Sede do Centro de Pesquisa e Desenvolvimento para a Inovação e Sustentabilidade.	32
Figura 3-2: Planta baixa da implantação do Parque de Inovação e Sustentabilidade do Ambiente Construído.	33
Figura 3-3: Ilustração do Parque Inovação Sustentabilidade do Ambiente Construído com integração entre edifício e vegetação.	35
Figura 3-4: Estrutura metálica do Parque de Inovação e Sustentabilidade do Ambiente Construído.	37
Figura 3-5: Tamanho da projeção da cobertura pelo software <i>Robot Structural Analysis Professional</i>	38
Figura 3-6: Isopletas de velocidade básica (m/s)	39
Figura 3-7: Distribuição das cargas com o método dos quinhões pelo software <i>Robot Structural Analysis Professional</i>	40
Figura 3-8: Lançamento dos apoios engastados pelo software <i>Robot Structural Analysis</i>	41
Figura 3-9: Análise de tensões pelo software <i>Robot Structural Analysis Professional</i>	43
Figura 3-10: Planta baixa da cobertura dos quatro edifícios do PISAC.	44
Figura 3-11: Informações sobre a placa Canadian Solar CS6K – 270 P.	45
Figura 3-12: Orientação do painel fotovoltaico.	46
Figura 3-13: Mapa de localização da Universidade de Brasília.	47
Figura 3-14: Ilustração para definição do espaçamento mínimo entre gerador fotovoltaico e obstáculo, para evitar sombreamento.	48
Figura 3-15: Esquema do triângulo de inclinação da placa fotovoltaica com o solo.	49
Figura 3-16: Mapa estratégico do sistema solar fotovoltaico conectado à rede.	60
Figura 3-17: Ferramenta de apoio para tomada de decisão para sistemas de geração solar distribuída.	62

LISTA DE TABELAS

Tabela 2-1: Irradiação solar diária média mensal (kWh/m ² . dia) para os meses do ano.....	24
Tabela 2-2: Exemplo de planilha de consumo médio mensal em kWh.....	25
Tabela 3-1: Consumo médio mensal de eletricidade do Parque de Inovação e Sustentabilidade do Ambiente Construído.	35
Tabela 3-2: Consumo médio mensal de eletricidade no condicionamento de ar do Parque de Inovação e Sustentabilidade do Ambiente Construído.	36
Tabela 3-3: Consumo médio mensal geral total de eletricidade do Parque de Inovação e Sustentabilidade do Ambiente Construído.	36
Tabela 3-4: Dados dos perfis utilizados na cobertura do edifício 1 (Recepção).	41
Tabela 3-5: Dados dos perfis utilizados na cobertura do edifício 2 (Auditório).	42
Tabela 3-6: Dados dos perfis utilizados na cobertura do edifício 3 (Escritórios).....	42
Tabela 3-7: Dados dos perfis utilizados na cobertura do edifício 4 (Áreas Molhadas).	42
Tabela 3-8: Resultados das análises de tensões dos quatro edifícios.	44
Tabela 3-9: Identificação dos edifícios e suas áreas disponíveis.	45
Tabela 3-10: Irradiação solar diária média mensal. Cálculo no Plano Inclinado, Município: Brasília, DF - BRASIL.	50
Tabela 3-11: Número de placas fotovoltaicas que cada edifício comporta.	51
Tabela 3-12: Dimensionamento dos inversores.	52
Tabela 3-13: Valor Presente Líquido com e sem investimento.....	56
Tabela 3-14: Custo geral mensal de eletricidade do Parque de Inovação e Sustentabilidade do Ambiente Construído.	57
Tabela 3-15: Dados de consumo e geração de energia elétrica.	58

LISTA DE QUADROS

Quadro 2-1: Resumo da Situação Atual dos Empreendimentos das Fontes de Energia Exploradas no Brasil.	15
Quadro 2-2: Grupo B de acordo com ANEEL.	26
Quadro 2-3: Perdas de Energia e rendimento do sistema solar fotovoltaico.	26
Quadro 3-1: Tipos de combinações de carregamentos.	43
Quadro 3-2: Ângulo de inclinação recomendado para painéis fotovoltaicos.	46
Quadro 3-3: Perdas de Energia e rendimento do sistema solar fotovoltaico estimados.	50
Quadro 3-4: Custos do Sistema Solar Fotovoltaico.	53
Quadro 3-5: Vida útil dos equipamentos.	53

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 3-1: Velocidade e direção do vento a 10 metros (%).	38
Gráfico 3-2: Velocidade do vento.	39
Gráfico 3-3: Fator de espaçamento versus latitude do local da instalação do gerador fotovoltaico.	48
Gráfico 3-4: <i>Payback</i> simples.	54
Gráfico 3-5: <i>Payback</i> descontado.	55
Gráfico 3-6: <i>Payback</i> simples versus <i>payback</i> descontado.	55
Gráfico 3-7: Geração de energia elétrica mensal.	57
Gráfico 3-8: Distribuidora versus Sistema Fotovoltaico (R\$).	58

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 2-1	27
Equação 2-2	27
Equação 2-3	28
Equação 2-4	29
Equação 2-5	29
Equação 2-6	30
Equação 3-1	47
Equação 3-2	49
Equação 3-3	50
Equação 3-4	51

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
BIG	Banco de Informações de Geração
BRE	Building Research Establishment
CA	Corrente Alternada
CBIC	Câmara Brasileira da Indústria da Construção
CC	Corrente Contínua
COP	Conferência das Partes
CPIC	Cadeia Produtiva da Indústria da Construção
Eletróbrás	Centrais Elétricas Brasileiras
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
FINEP	Financiadora de Estudos e Projetos
FV	Fotovoltaico
GEE	Gases de Efeito Estufa
GEO-5	Global Environment Outlook-5 (Quinto Panorama do Meio Ambiente Global)
GWp	Gigawatt pico
IEE	Instituto de Energia e Ambiente
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
LABSOL	Laboratório de Energia Solar
MCTIC	Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicação
LACIS	Laboratório do Ambiente Construído, Inclusão e Sustentabilidade
MME	Ministério de Minas e Energia
MWp	Megawatt pico
ONU	Organização das Nações Unidas
Org.	Organização
P&D	Pesquisa e Desenvolvimento
PISAC	Parque de Inovação e Sustentabilidade do Ambiente Construído
PNUMA	Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente
PRODEEM	Programa de Desenvolvimento Energético de Estados e Municípios
PRODIST	Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica da Aneel
SIN	Sistema Interligado Nacional
STC	<i>Standard Test Conditions</i> (Condições Padrão de Ensaio)
TIR	Taxa Interna de Retorno
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
UnB	Universidade de Brasília
UNEP	United Nations Environment Programme (Programa das Nações Unidas para o meio ambiente)
USP	Universidade de São Paulo
VPL	Valor Presente Líquido
Wp	Watt-pico

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	vi
RESUMO.....	viii
ABSTRACT.....	ix
LISTA DE FIGURAS	x
LISTA DE TABELAS	xi
LISTA DE QUADROS	xii
LISTA DE GRÁFICOS	xiii
LISTA DE EQUAÇÕES.....	xiv
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS	xv
1 INTRODUÇÃO	3
1.1 JUSTIFICATIVA.....	4
1.2 OBJETO DE PESQUISA	6
1.3 OBJETIVOS.....	6
1.3.1 OBJETIVO GERAL	6
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	6
1.4 METODOLOGIA.....	6
1.4.1. Referencial Teórico	7
1.4.2. Coleta de dados do Parque de Inovação e Sustentabilidade do Ambiente Construído – PISAC	7
1.4.3. Dimensionamento do sistema de geração solar distribuída no PISAC	8
1.4.4. Análise Econômica.....	8
1.4.5. Comparação do fornecimento de energia elétrica para o PISAC pelo SIN com o fornecimento pela geração solar distribuída no próprio parque	8
1.4.6. Ferramenta de apoio à tomada de decisão.....	8
2 REFERENCIAL TEÓRICO	10
2.1 Contextualização	10
2.2 Regulação do Setor Elétrico e da Geração Solar Distribuída	16
2.3 Energia Solar Fotovoltaica no Distrito Federal	18
2.3.1 Recurso Solar no Distrito Federal	18
2.3.2 Programa Brasília Solar.....	20
2.3.3 Tecnologia Solar Fotovoltaica no Distrito Federal.....	20
2.4 Viabilidade Técnica e Econômica e Responsabilidade Ambiental e Social (R.A.S).....	22
2.4.1 Viabilidade Técnica	23
2.4.2 Viabilidade Econômica.....	28
2.4.3 Responsabilidade Ambiental e Social – R.A.S.....	30
3 DESENVOLVIMENTO DA FERRAMENTA DE APOIO PARA TOMADA DE DECISÃO PARA SISTEMAS DE GERAÇÃO SOLAR DISTRIBUÍDA	31
3.1 Parque de Inovação e Sustentabilidade do Ambiente Construído – PISAC	31
3.2 Estimativa do consumo.....	34

3.3	Dimensionamento do Sistema de Geração Solar distribuída no PISAC.....	37
3.4	Análise Econômica	53
3.5	Comparação do fornecimento de energia elétrica pra o PISAC pela distribuidora com o fornecimento pela geração solar distribuída no próprio parque.	56
3.6	Desenvolvimento da ferramenta de apoio	58
4	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	63
5	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	64
	APÊNDICE.....	76
	APÊNDICE A: Memorial de cálculo para definição do total de placas nos quatro edifícios.	76
	APÊNDICE B: Análise de investimento do projeto.	81
	APÊNDICE C: Perspectivas do mapa estratégico (<i>Balanced ScoreCard</i>)	82
	ANEXOS	84
	ANEXO A: Pannel solar fotovoltaico Canadian Solar CS6K-260 265 270 275P	84
	ANEXO B: Relatórios de configuração – Power-One Aurora Stringsizer	86
	ANEXO C: Ferramenta Online Power-One Aurora Stringsizer.....	90

1 INTRODUÇÃO

Em um contexto atual mundial, a composição das matrizes energéticas do setor elétrico é baseada, em sua maioria, em fontes não renováveis. A busca por fontes alternativas e outras maneiras de aproveitamento energético tornam-se cada vez mais presentes no mundo, sendo um meio de diversificar a geração de energia elétrica, tornando assim o sistema mais seguro (EREC, 2010).

Os sistemas de geração de eletricidade, em geral, são as usinas de grande porte e impacto socioambiental. A composição da matriz energética brasileira se mantém com a produção de eletricidade a partir das hidrelétricas, com um consumo energético crescente, saturando o modelo predominante (EPE, 2015).

Essa estrutura de geração de energia elétrica é vulnerável a falhas e a eventos meteorológicos diante da sua extensão, com possibilidades de provocar efeitos cascatas e ocasionar blecautes, interrompendo o fornecimento de eletricidade, de regiões e até do país. Um exemplo foi a interrupção de transmissão de energia elétrica em novembro de 2009 na usina de Itaipu (ONS, 2012).

Para tornar o setor energético brasileiro mais confiável é necessária a diversificação na geração de energia elétrica. A busca por meios de aproveitar os recursos naturais com todo o seu potencial energético é o que conduz ao desenvolvimento sustentável, tornando seguro o fornecimento de eletricidade às gerações futuras (Carrillo-Hermosilla, Konnola; 2009).

A geração descentralizada de energia elétrica proveniente do recurso solar resultaria em uma diminuição da sobrecarga do sistema hidráulico, principalmente em períodos de estiagem, além de contribuir para a complementação da matriz energética. A microgeração de eletricidade é considerada uma forma de prover energia elétrica para locais isolados, auferindo nos últimos anos incentivos para a geração distribuída, possibilitando a sua expansão para as áreas urbanas (ANEEL, 2012).

Em longo prazo estima-se que haja aumento do acesso às energias renováveis em busca da diversificação da matriz energética, uma vez que o recurso solar é limpo, gratuito e inesgotável. A energia solar fotovoltaica tornou possível a implantação de um microgerador nas residências da população (Greenpeace, 2010).

A descentralização da geração de energia elétrica é uma maneira de facilitar o acesso da população. É possível ser realizada a partir da utilização de pequenos

geradores que fazem uso de fontes renováveis, como o recurso solar, em que esse modelo promove a integração das unidades consumidoras e, ou produtoras de energia elétrica à rede (ANEEL, 2012).

A questão da sustentabilidade inserida no setor elétrico envolve a geração elétrica de maneira limpa realizando o aproveitamento do potencial energético de fontes de energia renováveis e a racionalização de consumos. O investimento em eficiência energética, fazendo uso das tecnologias, contribui para o desenvolvimento e consequente suficiência energética (EREC, 2010).

Diante do compromisso mundial de redução das emissões de gases poluentes para a atmosfera, a utilização de fontes de energia renováveis se encontra em crescente desenvolvimento. É estimado que a geração solar distribuída fotovoltaica, em específico, crescesse em torno de mais de 300% até o final do ano de 2017, com estimativa de ritmo acelerado no progresso do setor com o decorrer dos anos (IDEAL, 2017).

De acordo com o cenário de geração elétrica atual do Brasil, o presente trabalho visa desenvolver uma ferramenta de apoio à tomada de decisão para sistemas de geração solar distribuída, com uso da tecnologia fotovoltaica. Serão definidas todas as etapas necessárias e processos para realizar a implantação dessa tecnologia com ênfase nos sistemas conectados à rede elétrica.

O estudo de caso no Parque de Inovação e Sustentabilidade do Ambiente Construído será usado para o desenvolvimento da ferramenta, tendo como base o referencial teórico.

1.1 JUSTIFICATIVA

A utilização das energias renováveis, como a solar distribuída fotovoltaica a partir do aproveitamento energético do sol, é uma forma de produção elétrica sustentável, que colabora com a redução de emissões de gases poluentes ao meio ambiente.

De acordo com a Conferência das Partes o Brasil comprometeu-se para 2025 a diminuir as emissões de gases de efeito estufa – GEE – em 37%, quando comparado com os padrões de 2005. Até 2030, utilizando a mesma base de comparação, pretende-se contribuir com a redução de 43% das emissões de GEE (COP 21, 2016).

Há a necessidade de realizar compromissos em prol da garantia de suprimento energético, aliado à minimização de impactos ambientais, com o

objetivo de combater às alterações climáticas no âmbito de produção e uso de energia elétrica.

Considerando que ações voltadas para a pesquisa tecnológica e inovação no setor de construção são fundamentais no desenvolvimento de tecnologias sustentáveis, o Parque de Inovação e Sustentabilidade do Ambiente Construído que será edificado na Universidade de Brasília, uma forma de potencializar o desenvolvimento sustentável, alinhando processos produtivos em harmonia com o meio ambiente.

O sistema de geração solar distribuída proposto para ser instalado no Parque de Inovação e Sustentabilidade do Ambiente Construído busca gerar energia elétrica. Além disso, almeja diminuir a sobrecarga do sistema hidrelétrico, principalmente no que diz respeito a períodos de estiagem, diante da crise hídrica existente.

Por meio de um sistema de compensação, possibilita reduzir pagamento pelo consumo de energia elétrica. Além disso, as instituições superiores de ensino passam por dificuldades financeiras e econômicas, sendo de suma importância o investimento em soluções inovadoras.

A proposta deste modelo de geração de energia elétrica com a utilização da fonte renovável solar será uma unidade demonstrativa capaz de gerar oportunidade didática na formação acadêmica dos alunos. Será um sistema “vitrine” onde serão compartilhadas com a sociedade soluções sustentáveis no contexto de produção de eletricidade, contribuindo com a educação do consumidor e para treinamento e, ou visitação de técnicos de diversas áreas e estudantes de todos os níveis de ensino.

A implementação de uma metodologia de gestão é essencial para assegurar o sucesso de um projeto. Além de descrever as estratégias para o processo é necessário o planejamento de quais as soluções devem ser adotadas em cada etapa, tendo em vista a funcionalidade da tomada de cada decisão e o controle sobre o projeto.

Dessa forma, será desenvolvida uma ferramenta de apoio à tomada de decisões para sistemas de geração solar distribuída quanto à viabilidade técnica, econômica e a responsabilidade ambiental e social. A aplicação dessa ferramenta, em forma de árvore de decisões, será no Parque de Inovação e Sustentabilidade do Ambiente Construído, sendo esta uma oportunidade didática para a realização deste projeto.

1.2 OBJETO DE PESQUISA

Ferramenta de apoio à tomada de decisão para implantação de sistemas de geração solar distribuída desenvolvida no Parque de Inovação e Sustentabilidade do Ambiente Construído – PISAC.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GERAL

Desenvolver uma ferramenta de apoio à tomada de decisão para implantação de sistemas de geração solar distribuída.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Contextualizar o Panorama mundial e nacional na geração de energia elétrica, considerando impactos ambientais e sociais, de acordo com estratégias mundiais e nacionais de minimização desses impactos, considerando a geração solar fotovoltaica;
- ✓ Identificar os requisitos legais aplicáveis ao sistema de geração solar distribuída;
- ✓ Caracterizar o cenário da energia solar fotovoltaica no Distrito Federal;
- ✓ Realizar os estudos e critérios de viabilidade técnica e econômica e de responsabilidade ambiental e social com a aplicação da tecnologia fotovoltaica;
- ✓ Elaborar uma árvore de decisões a serem tomadas para a execução de um projeto de sistema solar fotovoltaico;
- ✓ Utilizar os dados do PISAC como estudo de caso para o desenvolvimento da ferramenta de apoio à tomada de decisão em sistemas de geração solar distribuída.

1.4 METODOLOGIA

Para alcançar os objetivos propostos neste Trabalho de Conclusão de Curso, foram necessários os seguintes passos metodológicos:

- Fundamentar o referencial teórico com caracterização dos cenários de geração de energia elétrica a partir do recurso solar;
- Caracterizar do cenário da energia solar distribuída fotovoltaica no Brasil e no Distrito Federal;
- Estimar o consumo de eletricidade do Parque de Inovação e Sustentabilidade do Ambiente Construído – PISAC;
- Dimensionar o sistema de geração solar distribuída no PISAC;
- Determinar o investimento financeiro do projeto;
- Comparar o fornecimento de energia para o PISAC pelo SIN com o fornecimento pela geração solar distribuída no próprio parque;
- Desenvolver uma árvore de decisões apresentando os critérios e possibilidades para o atendimento a requisitos.

1.4.1. Referencial Teórico

A fundamentação teórica foi feita a partir do levantamento de dados secundários em plataformas de pesquisa, como o Google Acadêmico, Portal Periódico CAPES, pesquisas em livros, pesquisas em sites institucionais como a Agência Nacional de Energia Elétrica, Operador Nacional do Sistema Elétrico, Eletrobrás, Centro de Pesquisas de Energia Elétrica, Ministério do Meio Ambiente, Ministério de Minas e Energia, Organização das Nações Unidas, Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente, e periódicos. O armazenamento da bibliografia utilizada para a realização deste trabalho foi feita com o auxílio da ferramenta *Mendeley*, facilitando tanto na organização quanto no manuseio dos documentos.

1.4.2. Coleta de dados do Parque de Inovação e Sustentabilidade do Ambiente Construído – PISAC

Para o levantamento do consumo de eletricidade do PISAC foram coletadas as informações dos memoriais descritivos e base de dados. As plantas em formato base *AutoCAD* e *SketchUp* também foram utilizadas para obter informações. Foram desenvolvidas planilhas eletrônicas para a análise do consumo de energia elétrica do Parque.

1.4.3. Dimensionamento do sistema de geração solar distribuída no PISAC

Para a realização do dimensionamento do sistema de geração solar distribuída fotovoltaica no PISAC foram utilizadas algumas ferramentas tais como: o software *Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2018* para a análise estrutural mediante sobrecarga das placas fotovoltaicas, o CRESESB – *sundata* para obtenção dos dados solarimétricos, a ferramenta de dimensionamento online para inversores *Power-One Aurora Stringsizer* que fornece uma indicação da qualidade de cada configuração proposta pelo software.

1.4.4. Análise Econômica

Uma análise econômica simplificada do sistema solar fotovoltaico foi realizada, considerando os critérios de análise de retorno de investimento financeiro e análise de compensação do gasto de energia elétrica do parque com avaliação de geração de eletricidade excedente. Para a análise econômica do sistema solar fotovoltaico a ser implantado no PISAC foi utilizado o editor de planilhas Microsoft Office Excel para os cálculos de Valor Presente Líquido, Taxa Interna de Retorno (TIR) e *Payback*, e construção dos gráficos.

1.4.5. Comparação do fornecimento de energia elétrica para o PISAC pelo SIN com o fornecimento pela geração solar distribuída no próprio parque

Foi realizada a análise entre o fornecimento de energia elétrica pelo Sistema Interligado Nacional e por meio da geração pelo sistema solar fotovoltaico a ser implantado no PISAC. Com a ferramenta Microsoft Office Excel foram construídos os gráficos de verificação.

1.4.6. Ferramenta de apoio à tomada de decisão

Uma ferramenta de apoio à tomada de decisão em sistemas de geração solar distribuída com a tecnologia fotovoltaica foi desenvolvida levando em consideração os critérios técnicos de dimensionamento do sistema e de perspectiva financeira visando à implantação do sistema solar fotovoltaico no local desejado. Para a definição da ferramenta foram mapeados os vários processos inerentes ao projeto de execução.

Realizar o mapeamento das decisões dentro dos processos de um projeto viabiliza a redução de custos além de acelerar determinadas escolhas. Como

ferramenta de auxílio à realização da árvore de decisões no cenário da energia solar fotovoltaica foi utilizado o *Balanced Score Card*, uma metodologia de medição e gestão de desempenho desenvolvida por Robert Kaplan e David Norton (KAPLAN; NORTON, 1997).

O software *Bizage Modeler* foi utilizado para a composição da árvore de decisões proporcionando a configuração da ferramenta para sistemas de geração solar distribuída.

O desenvolvimento da ferramenta foi realizado no PISAC como estudo de caso, baseado no referencial teórico. Alterações nas informações e dados pertinentes ao Parque não inviabilizam a sua verificação, tendo em vista a tomada de decisão em um aspecto amplo. A ferramenta foi desenvolvida visando à aplicação geral em sistemas de geração solar distribuída.

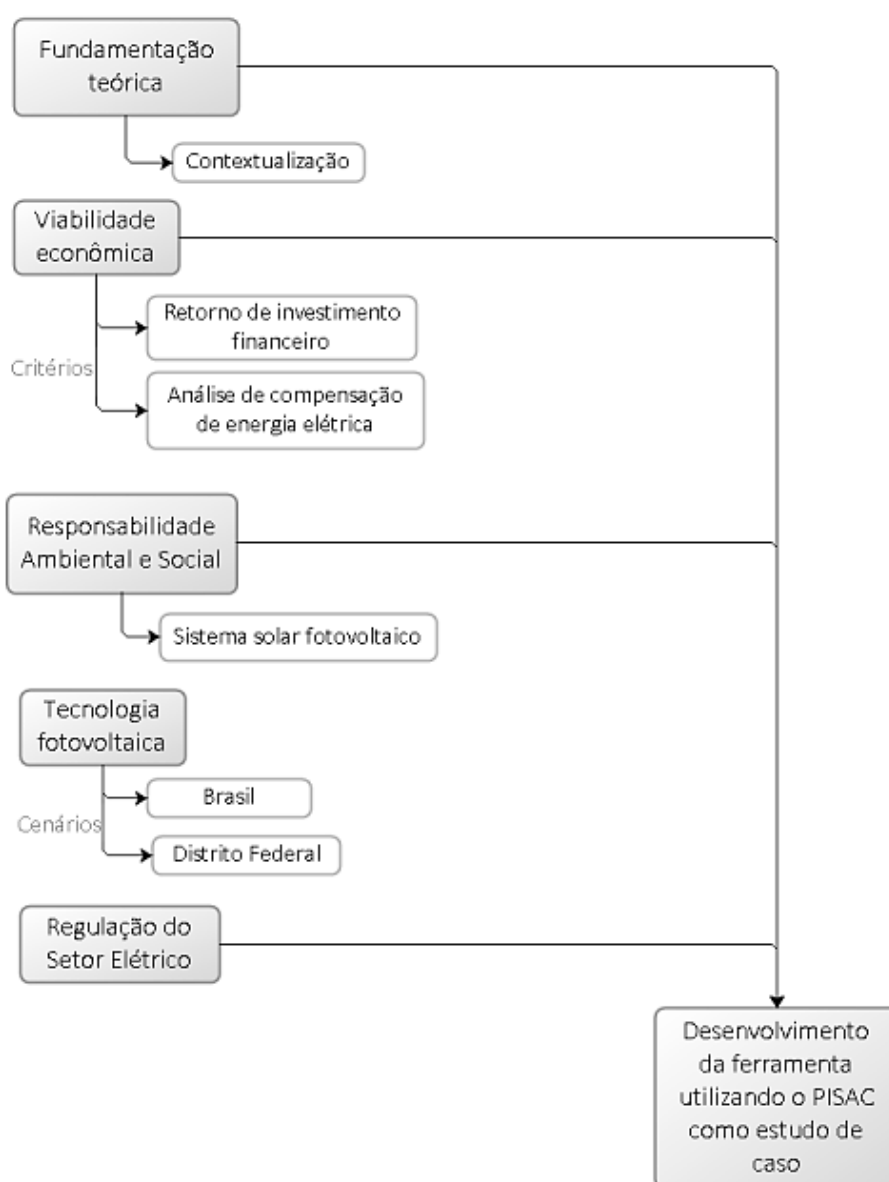


Figura 1-1: Esquema metodológico.
Fonte: autora.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Contextualização

A energia solar fotovoltaica ainda representa uma pequena parcela na matriz energética global, de quase 1%. Entretanto, possui destaque por suas perspectivas positivas. A utilização da energia solar, aliada às tecnologias para a geração elétrica vem conquistando o mercado da energia elétrica e introduzindo novos desafios ao sistema elétrico (REN21, 2015).

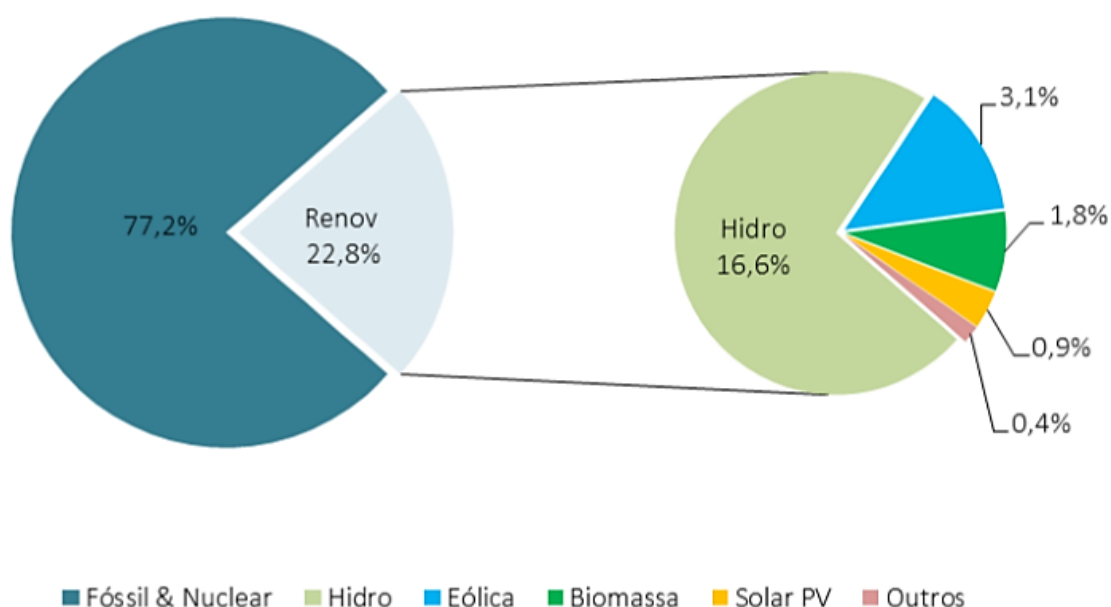


Figura 2-1: Produção de eletricidade em 2014 (3900 TWh).

Fonte: Renewables 2015, Global Status Report.

A disponibilidade do recurso hídrico em uma perspectiva futura pode ser afetada com o aquecimento global, gerando problemas de desertificações até enchentes. Dessa forma, alterações na disponibilidade deste recurso atingem pontualmente a produção de energia elétrica pelas hidrelétricas, diante da diminuição de vazão dos rios (PNUMA, 2012).

À medida que ocorre o aumento do consumo de energia aliado ao crescimento populacional, as pressões sobre o sistema terrestre aceleram, provocando a intensificação de mudanças às funções que sustentam a vida da sociedade e seu bem-estar. Como exemplos de consequências graves já existentes podem ser destacadas as enchentes, as secas, as mudanças de temperaturas e, conseqüente, aumento do nível do mar (PNUMA, 2012).

É fundamental o comprometimento de todos os países em monitorar e avaliar o meio ambiente, promovendo a aliança entre os contextos ambiental,

econômico e social. A utilização das tecnologias visando o aumento da eficiência energética, também auxilia na redução de emissões de GEE, com contribuição para melhorias ambientais.

A intensificação das mudanças climáticas e o aumento do nível do mar estão atingindo tanto os países desenvolvidos quanto os em desenvolvimento, em níveis alarmantes. Faz-se necessário tomar medidas imediatas, de modo a transformar os sistemas como o elétrico, da indústria e do transporte, para garantir que não ocorra aumento da temperatura média global, mantendo abaixo de dois graus Celsius (ONU, 2016).

Privilegiar novas tecnologias como a solar, eólica e biomassa, somadas a investimentos em eficiência energética, é essencial, tendo em vista que grandes usinas hidrelétricas causam impactos significativos no ambiente e na sociedade. Deslocamentos de comunidades, inundação de setores habitáveis, além da extinção da biodiversidade local, bem como a limitação da utilização do potencial hidrelétrico são alguns dos impactos que se destacam (EREC, 2010; Greenpeace, 2010).

É necessária a eliminação progressiva de fontes de energia não sustentáveis e uso sensato dos recursos naturais e energéticos, tendo em vista que desempenhar um sistema em que a energia elétrica é produzida próxima do local de consumo, reprime o desperdício nas etapas de transmissão e distribuição (EREC, 2010).

De fato, o Brasil possui amplo potencial de energia solar para a produção de eletricidade, por ser um país localizado na sua maioria na região intertropical com aproveitamento do sol durante todo o ano. Um dos benefícios do sistema solar em prol da geração de eletricidade é o desenvolvimento de regiões remotas no Brasil (PEREIRA, MARTINS et al., 2006).

O aproveitamento da fonte solar se tornou mais relevante no ano de 2012, quando a ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica – criou a Resolução Normativa nº 482/2012, possibilitando que todo e qualquer cidadão utilizasse de seu telhado para a autoprodução de energia elétrica e obtenção de descontos no consumo de eletricidade. Esse incentivo impulsionou a energia solar no país para a geração distribuída (ANEEL, 2012).

Por meio da Resolução Normativa Nº 482, de 17 de Abril de 2012 foi estabelecido o Sistema de Compensação. Este é um sistema em que a energia elétrica operante inserida por unidade consumidora, a partir de microgeração ou

minigeração distribuída, é entregue à distribuidora local como forma de um empréstimo, que mais tarde é compensada com o consumo de eletricidade por meio de créditos em *Watts* (ANEEL, 2012).

A regulação da geração solar distribuída é centralizada na Resolução Normativa da ANEEL nº 482 de 2012, com a criação da regulamentação dos créditos de energia solar. São estabelecidas nesta norma as condições gerais para a conexão dos sistemas de energia solar fotovoltaica na rede de energia elétrica (ANEEL, 2012).

O Sistema de geração solar distribuída fotovoltaica possui como princípio a captação da energia solar e posteriormente a conversão em eletricidade. É empregada no suprimento da rede elétrica, podendo ser em pequena escala, no caso de residências (uso doméstico), ou grande escala, nas usinas solares (uso comercial) (EPE, 2012).

A geração solar fotovoltaica com sistemas conectados à rede elétrica, conhecido usualmente como *on-grid*, dispensa o uso de baterias para armazenamento de energia elétrica. É a rede que possui o papel de suprir a necessidade energética em momentos de maior demanda e menor produção, em que este processo é integralmente dependente da rede (ANEEL, 2004).

O inversor atua em momentos de queda de energia elétrica interrompendo a injeção de eletricidade na rede, retornando ao funcionamento após algum tempo. Dessa forma, não ocorrem acidentes quando as concessionárias executam manutenções na rede (ANEEL, 2004).

A partir do Plano de Operação Energética (PEN, 2017), foi elaborada uma projeção de 2016 a 2021 de geração em MW de energia elétrica das diferentes fontes existentes no Brasil, como mostra a *Figura 2-2* (PEN, 2017).

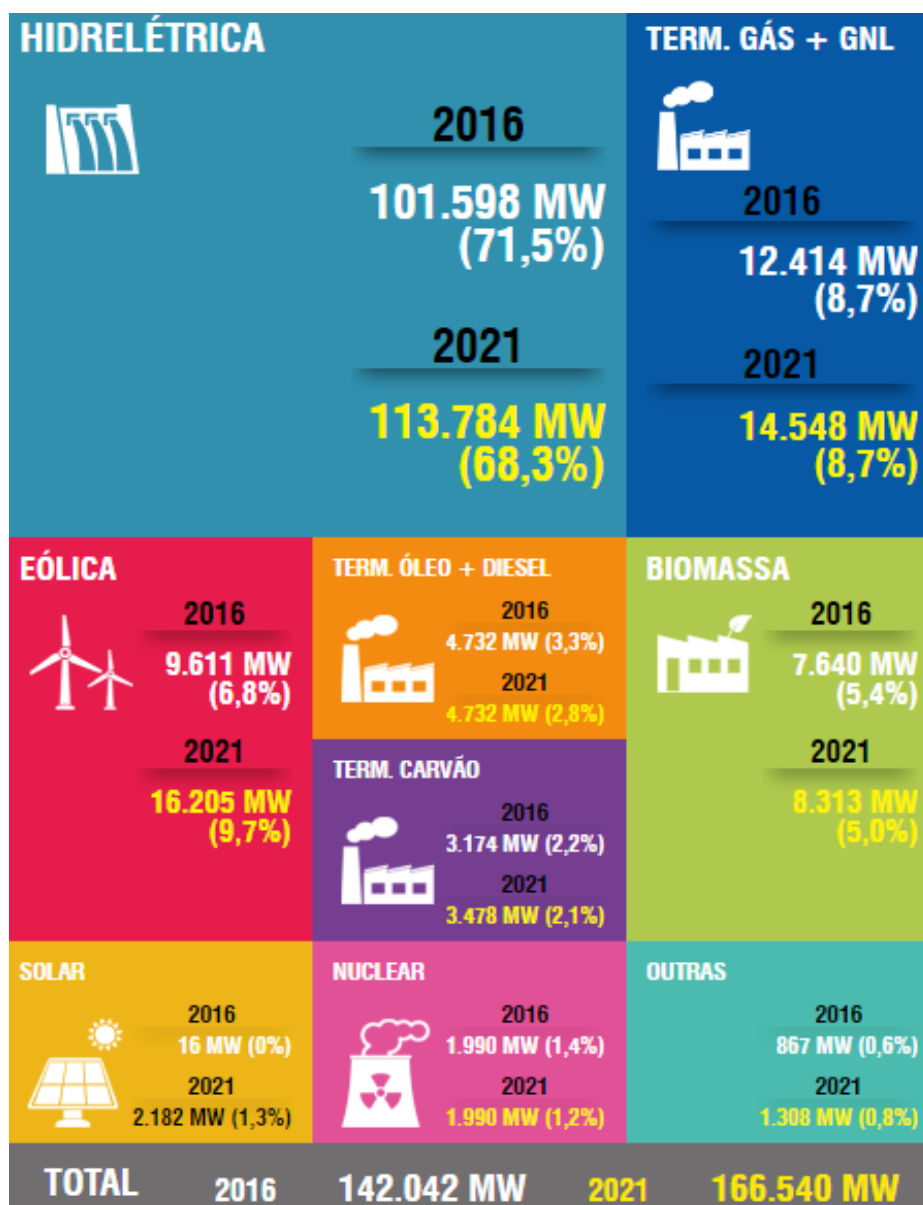


Figura 2-2: Capacidade instalada do SIN 2016/2021.
Fonte: Plano de Operação Energética, PEN 2017.

O esgotamento do potencial hidrelétrico é uma perspectiva da projeção de 2016 a 2021 para a geração de energia elétrica. É evidente a necessidade de investir em outras fontes, como a energia solar, diversificando assim a matriz energética brasileira (Figura 2-2).

A geração hidrelétrica no Brasil encontra-se em frequente pressão socioambiental. A área utilizada para a construção das usinas alaga grandes áreas, trazendo prejuízos ao ecossistema e às comunidades locais (IEA, 2017).

A geração solar distribuída surge como uma forma de amenizar essa situação, ocasionando em menor impacto nos entornos de sua instalação. Utilizando energia solar, renovável, inibe-se a dependência em relação ao preço da

matéria prima, não agregando valor ao custo da energia elétrica para o consumidor final (IEA, 2017).

Por meio dos dados do Atlas Brasileiro de Energia Solar sabe-se que a média anual de radiação global do país é ampla, em que se 5% de toda essa energia solar fosse utilizada, seria possível atender à demanda completa por energia elétrica (CRESESB, 2000).

O mercado de painéis fotovoltaicos cresceu nos últimos anos, com ênfase em incremento de eficiência energética. Houve significativo decréscimo de custo das células fotovoltaicas comparado há anos anteriores. O custo dos painéis fotovoltaicos decresceu aproximadamente de US\$ 30 em 1980 para menos de US\$ 1 por Wp, de acordo com os dados apresentados pela ANEEL durante o seminário de Mini e Microgeração de Energia (DASSI, ZANIN et al., 2015).

Em relação à linha do tempo da inserção da energia solar fotovoltaica no mercado, o custo da tecnologia que compõe esse sistema sofreu queda de mais de 100 vezes desde 1950, superando a diminuição de custo qualquer outra tecnologia durante esse período (GTM RESEARCH, 2016).

À medida com que surgem inovações nas tecnologias utilizadas no sistema solar fotovoltaico, ocorre a queda dos custos deste sistema. O aumento da demanda por silício, aliado ao surgimento de novas tecnologias, como o filme fino, trazem consigo melhor eficiência obtendo maior competitividade no mercado de geração de energia elétrica (PICHEL, 2006).

Mundialmente, dados do mercado de painéis fotovoltaicos apresentaram um intenso crescimento, com destaque para o ano de 2011 com 67%. As células fotovoltaicas vêm apresentando uma queda de aproximadamente 10% ao ano, o sistema fotovoltaico vem se tornando mais viável economicamente com o decorrer dos anos (BERMANN; MOREIRA, 2012).

Atualmente, há no Brasil 77 milhões de unidades consumidoras de eletricidade. Em 2016, a compensação de energia elétrica excedente gerada por sistemas de compensação de solar fotovoltaica atingiu 53,6 GWh com potência instalada de 56,9 MW (EPE, 2017).

Dentre as fontes de energia elétrica exploradas no Brasil a fonte fotovoltaica possui 46 empreendimentos de construção não iniciada, 17 em construção e 2114 em operação (Quadro 2-1). No entanto, há a perspectiva de avanço para os anos seguintes, impulsionado pela escassez das chuvas e consequente aumento do

uso das termelétricas, que são dispendiosas e potencialmente poluidoras (EPE, 2017).

Quadro 2-1: Resumo da Situação Atual dos Empreendimentos das Fontes de Energia Exploradas no Brasil.

Resumo da Situação Atual dos Empreendimentos		
Fonte de Energia	Situação	Potência Associada (kW)
46 empreendimentos de fonte Fotovoltaica	Construção não iniciada	1.120.291
17 empreendimentos de fonte Fotovoltaica	Construção	490.220
2114 empreendimentos de fonte Fotovoltaica	Operação	1.284.115

Fonte: BIG - Banco de Informações de Geração, 2018.

Quando conectada à rede de distribuição, a energia solar distribuída abastece locais que dependeriam e fariam uso de um sistema de transmissão de alta voltagem. Assim, a produção energética descentralizada diminui a perda de eletricidade, que é transmitida por linhas extensas, partindo das usinas hidrelétricas até os centros consumidores (RÜTHER, 2004, p.7).

Ainda no contexto otimista, a fonte solar produz energia elétrica limpa e renovável a partir de um recurso inesgotável. As placas fotovoltaicas possuem longa vida útil, definida em aproximadamente entre 25 e 30 anos, e com isso possui baixos custos de manutenção (SILVA, 2002).

Na segunda edição da publicação “O Setor Elétrico Brasileiro e a Sustentabilidade no Século 21: Oportunidades e Desafios” o relatório destacou que há um total de aproximadamente 20% de perdas de transmissão de energia elétrica no Brasil. Esse problema atinge diretamente o consumidor com o aumento da tarifa, o que é descartado com a utilização da energia solar (BERMANN; MOREIRA, 2012).

Economicamente, outro ponto positivo na geração distribuída é em relação ao Sistema de Compensação de Energia Elétrica. É possível obter créditos de energia que são utilizados para descontar na conta de consumo de energia elétrica, reduzindo os custos (ANEEL, 2015).

Um dos principais benefícios de se estabelecer um sistema de geração solar distribuída é a supressão do uso de baterias, diminuindo os custos de investimento além dos impactos do acúmulo de baterias. Quando ocorre mais geração do que consumo, o saldo positivo de energia elétrica é injetado na rede da concessionária,

eliminando a necessidade do uso do banco de baterias para armazenar o excedente, que por meio dos créditos de energia, podem ser utilizados por até sessenta meses após a data do faturamento (ANEEL, 2016).

2.2 Regulação do Setor Elétrico e da Geração Solar Distribuída

As orientações para o uso e exploração dos serviços da área de energia elétrica do Governo Federal são de responsabilidade da Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL. Compete à ANEEL estabelecer parâmetros de qualidade para o atendimento e a segurança de cada região do país, de forma a suprir as necessidades técnicas, econômicas e ambientais. Aliado a isso, é essencial que haja o uso eficaz e eficiente da energia elétrica, bem como proporcionar a livre concorrência no mercado (ANEEL, 2015).

O setor de distribuição da energia elétrica é caracterizado como um segmento destinado a realizar o rebaixamento da tensão advinda do sistema de transmissão, rumo às centrais geradoras e ao fornecimento ao consumidor. Sua composição consiste na rede elétrica e na associação de instalações e equipamentos elétricos (ANEEL, 2015).

A operação do sistema de energia elétrica suporta três níveis, sendo eles o nível de alta tensão (superior a 69 kV e inferior a 230 kV), média tensão (superior a um kV e inferior a 69 kV) e baixa tensão (igual ou inferior a um kV) (ANEEL, 2015).

No Brasil, a regulação técnica de distribuição é coordenada pela Superintendência de Regulação dos Serviços de Distribuição – SRD. Há 114 distribuidoras de energia elétrica, sendo 63 concessionárias e 38 permissionárias, e outras 13 são as cooperativas de eletrificação rural, que ainda estão em processo para se tornarem concessionárias ou permissionárias (ANEEL, 2015).

No planejamento e programação da operação do Sistema Interligado Nacional – SIN – quem atua é o Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), com regulação e fiscalização pela ANEEL (ONS, 1998).

O Sistema Interligado Nacional é um conjunto de instalações e de equipamentos que tornam possível o suprimento de energia elétrica nas regiões do país. São interligadas eletricamente, de acordo Resolução Normativa ANEEL nº 622 de 19 de agosto de 2014.

O SIN é um sistema de geração e transmissão de energia elétrica, que engloba as cinco regiões do Brasil. A coordenação e controle cabem à ONS, já a

ANEEL define os procedimentos e os requisitos necessários à realização da regulação e fiscalização (ONS, 2017).

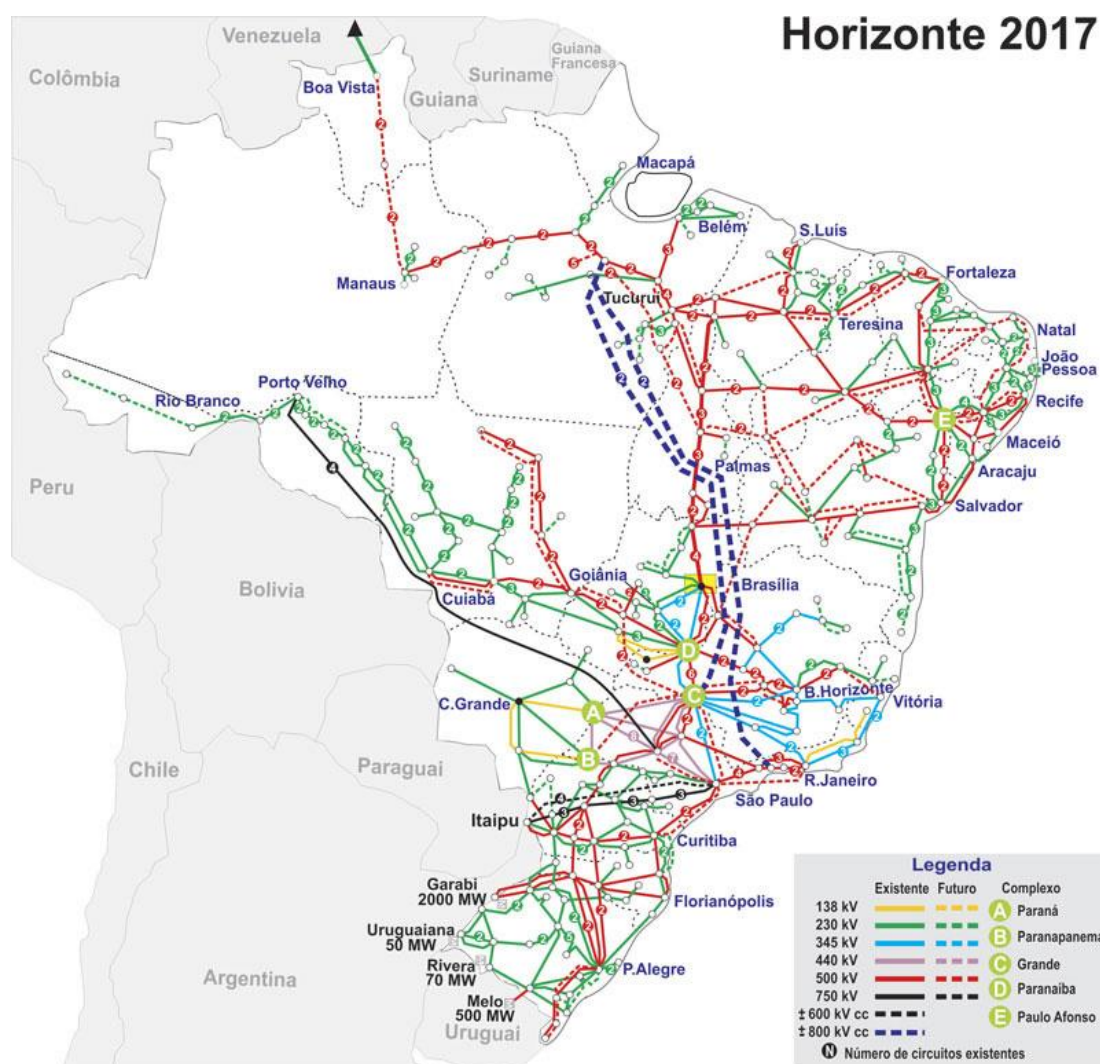


Figura 2-3: Sistema de Transmissão – Horizonte 2017.
Fonte: ONS, 2017.

A sua regulação da geração solar distribuída está na Resolução Normativa da ANEEL nº 482 de 2012, com a criação da regulamentação dos créditos de energia solar. São estabelecidas nesta norma as condições gerais para a conexão dos sistemas de energia solar fotovoltaica na rede de energia elétrica (ANEEL, 2012).

Assim, as políticas em prol da geração solar distribuída geram oportunidades para a economia financeira no consumo de eletricidade. Além disso, contribuem com a produção de uma energia elétrica limpa apoiada nos pilares da sustentabilidade (UNEP, 2017).

2.3 Energia Solar Fotovoltaica no Distrito Federal

2.3.1 Recurso Solar no Distrito Federal

Brasília possui grande potencial de geração de energia solar fotovoltaica, principalmente por sua localização geográfica com alta taxa de irradiação e uma pequena extensão territorial. Além disso, possui mais de seis meses de seca durante o ano o que caracteriza maior predisposição para o aproveitamento da energia solar.

A irradiação de Brasília é avaliada como uma das melhores do Centro-Oeste e até mesmo do Brasil, se aproximando da capacidade de aproveitamento identificado no Sudeste e Nordeste (MATHYAS; SHAYANI, 2016).

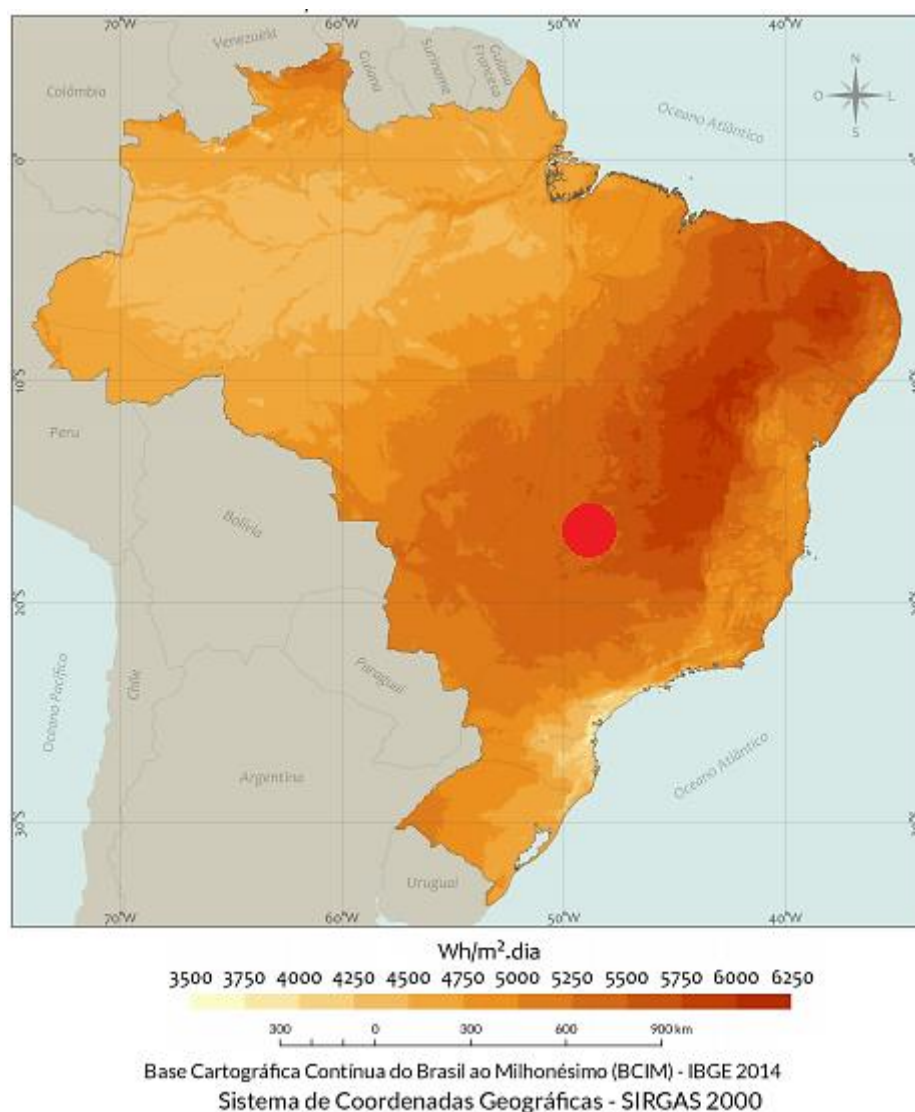


Figura 2-4: Total diário da irradiação no plano inclinado na latitude. Média anual.
Fonte: Atlas Brasileiro de Energia Solar, 2ª Edição. São José dos Campos – Brasil.

A localização e as características climáticas favorecem o emprego da tecnologia solar fotovoltaica como mostra a *Figura 2-4*. Em relação ao plano inclinado, em que ocorre o máximo de aproveitamento, a média anual de irradiação solar apresentada pelo Distrito Federal é de 5,28 kWh/m² (CRESESB, 2018).

Grande parte da energia elétrica recebida por Brasília é decorrente das hidrelétricas localizadas em locais afastados do Distrito Federal. A Usina Hidrelétrica de Furnas fornece aproximadamente 80% de eletricidade, já os outros 20% são oriundos da Usina de Itaipu. Há a evidência de grande risco de fornecimento energético para o futuro diante das anomalias de vazão já apresentadas pelas usinas hidrelétricas, o que se faz necessária a diversificação na matriz elétrica brasileira (FCPC, 2015).

Com o comprometimento do Brasil em reduzir as emissões de gases de efeito estufa em prol das metas acordadas no mundo, a oferta de energia elétrica por fontes renováveis não hídricas é uma forma de atingir esse objetivo. Inovações em soluções são vitais, fundamentada na tecnologia e sustentabilidade, para que seja possível o equilíbrio social e ambiental.

O Distrito Federal possui área territorial de 5.780 km², sendo necessários apenas 24 km² para a geração de eletricidade demandada. Em dados percentuais, seria necessário utilizar 0,41% da área do DF para gerar o suficiente de energia elétrica para atender a demanda de consumo da Capital Federal (MATHYAS; SHAYANI, 2016).

O funcionamento do sistema de compensação para a geração energia elétrica é da seguinte forma: um consumidor de eletricidade instala em sua unidade de consumo um pequeno gerador, com os painéis solares e mecanismos pertinentes, e a energia elétrica ali gerada é utilizada para abater o consumo dessa localidade. Quando a unidade geradora alcança mais produção do que consumo, o excedente pode ser empregado no abatimento da fatura do próximo mês, ou até mesmo utilizado em outras unidades cadastradas antecipadamente, inseridas na mesma área de concessão (ANEEL, 2012).

Os Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede (SFCRs) possuem a configuração padrão que compreendem os painéis fotovoltaicos, o inversor de frequência e um medidor bidirecional que atua medindo o fluxo de energia elétrica que entra e sai da unidade geradora e ou consumidora.

O medidor bidirecional é responsável por registrar a quantidade de energia elétrica gerada que é injetada na rede e pelo registro da eletricidade consumida

pela unidade, ambas em kWh. No caso da microgeração, a distribuidora é responsável pela instalação e manutenção do sistema de medição de geração e consumo de energia elétrica, além da operação e manutenção com eventuais custos de substituição inclusos (ANEEL, 2016).

A utilização da energia solar fotovoltaica para a geração distribuída é uma forma de uso descentralizado dessa energia, sendo uma maneira de garantir o crescimento energético de maneira harmônica com o meio ambiente. Com a instalação dos painéis em telhados de edificações existentes eliminam-se a ocupação de áreas novas e a construção de mais linhas de transmissão no sistema elétrico.

2.3.2 Programa Brasília Solar

O Grupo de Trabalho Brasília Solar, com a liderança da Secretaria de Meio Ambiente do Distrito Federal, desenvolveu o Programa Brasília Solar com o objetivo de incentivar o desenvolvimento tecnológico no âmbito da energia solar, com o intuito de motivar a sustentabilidade na região.

Secretarias de Estado e Coligadas, Empresas do Setor Privado e Institutos relacionados à cadeia de energia solar fotovoltaica, Organizações da Sociedade Civil, Redes da Sociedade Civil e Universidades são alguns órgãos do governo que são especulados como parceiros no programa (SEMA, 2016).

O governo de Brasília, junto à Política Distrital de Mudanças Climáticas, objetiva reduzir as emissões de gases de efeito estufa, em discussão com os setores organizados da sociedade. A implementação do Programa Energia para o Desenvolvimento Sustentável e o Programa Brasília Solar são parte de um plano estratégico de geração descentralizada de energia elétrica (SEMA, 2016).

2.3.3 Tecnologia Solar Fotovoltaica no Distrito Federal

Existe uma variedade de tecnologias e nível de eficiência de módulos fotovoltaicos. Entretanto, em sua maioria na geração distribuída são utilizados os módulos fotovoltaicos de silício (Si). Esses módulos podem ser constituídos por cristais monocristalinos, policristalinos ou amorfos. O processo de fabricação consiste no material semicondutor que se transforma de fato em uma célula fotovoltaica para que possa ser conectada em módulos (CEMIG, 2012).

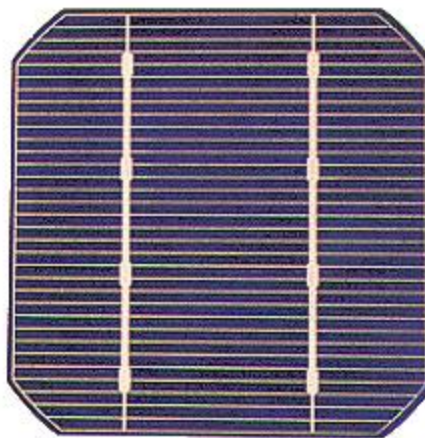


Figura 2-5: Célula de silício monocristalino.
Fonte: CRESESB – CEPEL (2013).

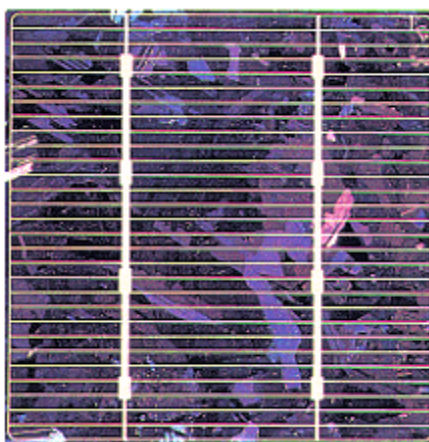


Figura 2-6: Célula de silício policristalino.
Fonte: CRESESB – CEPEL (2013).

As células de silício policristalino possuem menor custo em comparação com as células monocristalinas, por requererem um modo de fabricação das células menos exigentes, com menor uso de energia elétrica no seu processo de fabricação (CEMIG, 2012).

A tecnologia solar fotovoltaica é identificada com diferentes fases de geração, em que o silício cristalino equivaleria à primeira geração (ELY; SWART, 2014).

A segunda geração é classificada como a de filmes finos inorgânicos, e é dividida em três categorias: silício amorfo (a-Si), disseleneto de cobre, índio e gálio (CIGS) e telureto de cádmio (CdTe) (ELY; SWART, 2014).

A tecnologia de painéis de filmes finos faz uso do Silício Amorfo (a-Si), em que ocorre a deposição de materiais semicondutores em suportes que ocasionam economia de material, dando flexibilidade à célula. Esses suportes podem ser de vidro, polímeros, alumínio e aço (VILLALVA & GAZOLI, 2012).



Figura 2-7: Filme fino, silício amorfo.

Fonte: solarparts.

O silício amorfo possui menor custo, mas apresenta eficiência reduzida quando comparada com as de silício monocristalino e policristalino. Sua vantagem é a possibilidade de aplicação em superfícies curvas, em que não há redução da potência gerada com o aumento da temperatura de operação, viabilizando sua aplicação no Brasil, um país que possui altas temperaturas (CEMIG, 2012).

A terceira geração ainda está em fase de pesquisa e desenvolvimento, realizando-se testes e produção em pequena escala. São os materiais orgânicos e nanoestruturados que compõem essa geração. Possui potencial de produção com eficiências relativamente altas, mas o custo ainda não possui nível competitivo com as demais no mercado (ELY; SWART, 2014).

Com o intuito de obter novas tecnologias para implantar no sistema de uso de energias renováveis, mais especificadamente nos sistemas fotovoltaicos, o estudo para o avanço da tecnologia nesse contexto é crescente, explorando-se novos materiais e técnicas na área (CEMIG, 2012).

No Distrito Federal em sua maioria são utilizados os módulos fotovoltaicos de silício policristalino na geração distribuída, com eficiência de absorção de energia solar de aproximadamente 16% (em condições padrão) (MATHYAS; SHAYANI, 2016).

2.4 Viabilidade Técnica e Econômica e Responsabilidade Ambiental e Social (R.A.S)

Os critérios técnicos compõem as principais etapas e as decisões a serem realizadas em um projeto de sistema fotovoltaico. De forma simplificada, os critérios econômicos devem ser analisados em torno da identificação do retorno de

investimento financeiro e de compensação do gasto de energia elétrica com avaliação de geração de eletricidade excedente. Além disso, deve ser realizada a análise de responsabilidade ambiental e social.

2.4.1 Viabilidade Técnica

Os projetos de Sistemas Fotovoltaicos possuem etapas necessárias para ser possível executar de maneira adequada o projeto executivo, com etapas preliminares e posteriormente os dimensionamentos dos componentes (CRESESB, 2014).

As principais etapas em um projeto de Sistema Fotovoltaico são o levantamento do recurso solar disponível no local, a definição da localização e como o sistema será configurado, o levantamento de demanda e consumo de energia elétrica, os dimensionamentos do gerador fotovoltaico e dos equipamentos de potência, e o armazenamento da energia elétrica (CRESESB, 2014).

O primeiro procedimento consiste em realizar uma visita ao local para a escolha apropriada da área para a instalação do sistema solar fotovoltaico. Deve-se analisar no local se existem fenômenos de sombreamento como prédios ao redor para estipular a melhor disposição do sistema.

A grandeza de Horas de Sol Pleno – HSP – reflete o número de horas em que a irradiância solar deve permanecer constante e igual a 1 kW/m^2 . A energia resultante é equivalente à energia solar no local em questão, concentrada em um dia (CRESESB, 2014).

Para o cálculo da irradiação solar diária média mensal no território brasileiro há a ferramenta de apoio *SunData* feita pelo CRESESB para auxiliar no dimensionamento dos sistemas solares fotovoltaicos. Em 1995 foi elaborada a primeira versão deste programa para apoiar as várias etapas do Programa de Desenvolvimento Energético dos Estados e Municípios PRODEEM e após um ano foi integrado via web para consultas (CRESESB, 2018).

Posteriormente à publicação da segunda edição do Atlas Brasileiro de Energia Solar em 2017, o Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito CRESESB adquiriu permissão para que pudesse utilizá-lo para atualizar a sua base de dados. Sendo assim, com o *SunData* possui as informações mais modernas de irradiação solar no Brasil, com dados de um total de dezessete anos de imagens de satélites e com referências de mais de 72 mil pontos em todo o território nacional (CRESESB, 2018).

Os dados são apresentados na seguinte configuração:

Município: XXXXXX

Estado: XX

Latitude: XX,XX° N|S

Longitude: XX,XX° O

Distância do ponto de ref. (XX,XX° N|S; XX,XX° O): XX,X Km

Tabela 2-1: Irradiação solar diária média mensal (kWh/m². dia) para os meses do ano.

		Irradiação diária média [kwh/m2.dia]													
Ângulo	Inclinação [°]	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média	Delta
Ângulo igual a latitude	XX	X,xx	X,xx	X,xx	X,xx	X,xx	X,xx	X,xx	X,xx	X,xx	X,xx	X,xx	X,xx	X,xx	X,xx
Maior média anual	XX	X,xx	X,xx	X,xx	X,xx	X,xx	X,xx	X,xx	X,xx	X,xx	X,xx	X,xx	X,xx	X,xx	X,xx
Maior mínimo mensal	XX	X,xx	X,xx	X,xx	X,xx	X,xx	X,xx	X,xx	X,xx	X,xx	X,xx	X,xx	X,xx	X,xx	X,xx

Fonte: CRESESB.

A localização em que os painéis fotovoltaicos serão instalados é determinante no desempenho do sistema, sendo necessária a simulação de sombreamentos e modelamento 3D para obtenção de dados de desempenho do sistema (CRESESB, 2014).

A escolha da configuração do projeto consiste em definir se o sistema fotovoltaico será isolado ou conectado à rede, havendo ou não o armazenamento de energia elétrica. Neste trabalho considera-se que o sistema solar fotovoltaico será conectado à rede, dispensando o dimensionamento de baterias para o armazenamento de energia elétrica.

O levantamento da demanda e do consumo de energia elétrica do local onde se deseja instalar o sistema fotovoltaico deve ser analisado com base nos equipamentos elétricos presentes, realizando planilhas para a estimativa de consumo médio mensal (CRESESB, 2014).

Um exemplo de como elaborar uma planilha de consumo pode ser vista na **Tabela 2-2**. É necessário multiplicar a quantidade de aparelhos pela potência e utilização diária para encontrar o consumo diário de cada aparelho, e posteriormente o consumo médio mensal com os dias estimados em um mês.

Tabela 2-2: Exemplo de planilha de consumo médio mensal em kWh.

Equipamento	Unidades	Potência Média (W)	Tempo de funcionamento (horas)	Dias Estimados	Consumo Médio Mensal (kWh)
Geladeira	1	130	24	30	93,6
Lâmpada	8	32	6	30	46,08
Computador	1	100	4	20	8
TV 21"	1	45	5	30	6,75
Chuveiro	1	5000	0,5	30	75
Microondas	1	1200	0,35	30	12,6
Total: 242,03 kWh					

O projeto de Sistemas Fotovoltaicos conectados à rede possui algumas diferenças quando comparado com um sistema isolado. Sistemas conectados à rede dispensam o armazenamento de energia elétrica em baterias, em que operam obrigatoriamente em corrente alternada com mesma frequência e tensão da rede local (CRESESB, 2014).

O dimensionamento do gerador fotovoltaico em um sistema conectado à rede exige o conhecimento do sistema de compensação regulamentado na região. No Brasil, adota-se o Sistema de Compensação de Energia de acordo com a Resolução Normativa ANEEL 482/2012, com a criação dos créditos de energia quando o saldo é positivo entre consumo e geração de energia elétrica (ANEEL, 2012).

Para o levantamento de demanda e consumo de energia elétrica são necessários os dados do consumo de energia elétrica do local, obtido por meio das faturas de energia elétrica fornecidas pela distribuidora de energia ou medição direta. Com o valor médio de consumo mensal de eletricidade em kWh, precisa-se conhecer qual a classe do local, residencial, rural ou comercial. Assim, identifica-se qual o tipo de ligação, se é monofásica, bifásica ou trifásica (ANEEL, 2010).

De acordo com o tipo de ligação desconta-se do valor do consumo médio de eletricidade o valor da disponibilidade mínima de energia elétrica. Os custos de disponibilidade do sistema elétrico, aplicável ao faturamento mensal de consumidor responsável pela unidade consumidora do grupo B estão detalhados no *Quadro 2-2* e são classificadas em: monofásica com desconto de 30 kWh, bifásico 50 kWh e trifásico 100 kWh (ANEEL, 2010).

Quadro 2-2: Grupo B de acordo com ANEEL.

Grupo B		
Subgrupo	Classe	Subclasse
B1	Residencial	Baixa renda
B2	Rural	Agropecuária, indústria rural, etc.
B3	Outras classes	Industrial, comercial, poder público, consumo próprio, etc.
B4	Iluminação pública	---

Fonte: Aneel, 2010.

Os dados solarimétricos são obtidos por meio da ferramenta do CRESESB *sundata*, inserindo as coordenadas de latitude e longitude do local em que se deseja instalar o sistema. Com isso, no plano horizontal, é obtido o valor médio diário anual em *h/dia*.

A análise das perdas de energia é necessária para identificar o rendimento do sistema solar fotovoltaico a ser instalado. O **Erro! Fonte de referência não encontrada.** exemplifica as faixas perdas de energia a serem consideradas neste sistema.

Quadro 2-3: Perdas de Energia e rendimento do sistema solar fotovoltaico.

Perdas de Energia (η rendimento)	Faixa de perdas (%)
Perdas por temperatura	7,0 % ----18,0%
Incompatibilidade elétrica	1,0 % ----2,0%
Acúmulo de sujeira	1,0 % ----8,0%
Cabeamento CC	0,5 % ----1,0 %
Cabeamento CA	0,5 % ----1,0 %
Inversor	2,5 % ----5,0%

Para realizar o cálculo da potência total dos painéis são necessários os dados de energia de geração, HSP e o rendimento. A energia de geração é obtida pelo valor médio de consumo mensal em kWh/mês, subtraindo o valor correspondente do tipo de ligação utilizada no local. Posteriormente, o valor encontrado é dividido pelos 30 dias que compõem um mês com a unidade final em kWh/dia.

O HSP do local é identificado por meio da ferramenta disponível no CRESESB inserindo os valores de latitude e longitude. O rendimento é encontrado por meio do **Erro! Fonte de referência não encontrada.** Para encontrar o valor a potência total dos painéis do sistema em kWp utiliza-se a Equação 2-1.

$$P_{total\,painéis} = \frac{E_{geração}}{(HSP) \cdot (\eta)} \text{ [kWp]}$$

Equação 2-1

O cálculo da quantidade de painéis é dado pela razão entre a potência total de painéis encontrada na *Equação 2-1* e a potência de cada painel isoladamente, como mostra a *Equação 2-2*. É necessário realizar a escolha do painel solar fotovoltaico que seja adequado ao projeto para identificação da área que cada placa ocupará no espaço, qual a potência instalada de cada uma, parâmetros elétricos para a configuração apropriada, além do custo de cada variedade que seja mais viável para o usuário.

$$Número_{painéis} = \frac{P_{total\,painéis}}{P_{painel\,escolhido}}$$

Equação 2-2

Para a escolha do inversor deve-se verificar sua potência nominal, as tensões de entrada, a temperatura de operação do painel fotovoltaico e o coeficiente de temperatura do módulo fotovoltaico. A potência do inversor pode ser especificada como igual ou superior à potência de geração fotovoltaica instalada.

O dimensionamento do inversor depende da potência do gerador fotovoltaico e as características elétricas do módulo escolhido, além do modelo de inversor a ser dotado quanto aos critérios de tensão, corrente e potência.

Há uma grande variedade de *softwares* que realizam o dimensionamento e simulação de sistemas solares fotovoltaicos. Os simuladores utilizam metodologias que interagem os componentes do sistema, sendo que a maioria possui um banco de dados para importação de informações de radiação solar, e até mesmo de temperatura ambiente. No mercado existem inúmeros programas que abrangem diferentes configurações e apresentam resultados do comportamento do sistema.

A ferramenta de dimensionamento para inversores *Power-One Aurora Stringsizer* é capaz de fornecer uma indicação da qualidade de cada configuração proposta, em que são inseridos os dados de localização, temperatura, seleção do painel fotovoltaico e do inversor, sendo possível alterar os dados e otimizar a configuração. Essa ferramenta é de uso gratuito e disponibilizada para acesso online no link <http://stringtool.power-one.com/>. O manual de uso do sistema de configuração online encontra-se no ANEXO C.

2.4.2 Viabilidade Econômica

A análise econômica de investimento é algo amplo e envolve avaliações complexas. Para o sistema solar fotovoltaico neste estudo será abordada uma análise econômica simplificada, considerando os critérios de análise de retorno de investimento financeiro e análise de compensação do gasto de energia elétrica do parque com avaliação de geração de eletricidade excedente.

Inicialmente são identificados os investimentos necessários para dar início ao projeto, além de avaliar os custos operacionais e de manutenção para o funcionamento adequado.

Alguns indicadores devem ser analisados para a avaliação do investimento e do seu retorno em sistemas de energia solar fotovoltaica, sendo eles o Valor Presente Líquido (VPL), a Taxa Interna de Retorno (TIR) e o *Payback* (SOUSA; CLEMENTE, 2008).

2.4.2.1 Valor Presente Líquido – VPL

O Valor Presente Líquido existente em um investimento é análogo ao valor presente do fluxo de caixa líquido. É um valor monetário que configura o saldo entre as entradas e saídas de caixa a valor presente (SANTOS, 2001).

$$VPL = \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1 + TMA)^t} - investimento\ inicial$$

Equação 2-3

Onde:

- FC = Fluxo de caixa;
- TMA = Taxa mínima de atratividade (taxa de desconto);
- t = período de cada fluxo de caixa.

O editor de planilhas Microsoft Office Excel possui a função específica para realizar o cálculo do VPL, em que basta escolher a célula e inserir a fórmula VPL (NPV, em inglês), e selecionar as células do fluxo de caixa desejado acrescentando a taxa de desconto na mesma unidade de tempo do fluxo. Quanto maior for o valor do VPL, mais lucro está envolvido no projeto.

2.4.2.2 Taxa Interna de Retorno – TIR

A Taxa Interna de Retorno avalia a rentabilidade de um projeto de investimento. Quando os fluxos de entrada se igualam com os fluxos de saída no fluxo de caixa, em um único momento, há a representação da taxa de desconto TIR, ou melhor, é a taxa que produz um VPL igual à zero (KASSAI; SANTOS; ASSAF NETO, 2000).

$$VPL = 0 = investimento\ inicial + \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1 + TIR)^t}$$

Equação 2-4

Onde:

- FC = Fluxo de caixa;
- TMA = Taxa mínima de atratividade (taxa de desconto);
- t = período de cada fluxo de caixa.

Assim como para o VPL, o Excel possui uma função específica que calcula o TIR. Consiste em selecionar a célula que se deseja e inserir a fórmula TIR (IRR, em inglês) e selecionar as células do fluxo de caixa.

2.4.2.3 Payback

É um indicador que mede em quanto tempo o capital que foi investido no projeto será recuperado, evidenciando o tempo de viabilidade mínima. É nessa etapa que ocorre a análise do total de tempo necessário para gerar retornos que liquidem o investimento (SOUZA, 2003).

O *payback* simples pode ser calculado de acordo com a Equação 2-5, e não considera o valor do dinheiro no tempo. É primordial o planejamento adequado do fluxo de caixa, que consiste em uma sequência de valores que representam os investimentos e retornos em um projeto.

$$PB\ (payback) = \frac{investimento\ inicial}{resultado\ médio\ do\ fluxo\ de\ caixa}$$

Equação 2-5

O *payback* descontado é capaz de demonstrar o período de tempo necessário para recuperar o investimento inicial considerando o valor do dinheiro no tempo aplicando uma taxa de desconto. Pode ser calculado com a mesma

equação do *payback* simples, entretanto utiliza-se a taxa de desconto (Equação 2-6) para trazer o valor futuro para o valor presente anual e assim calcular o *payback*.

$$Valor = \frac{FC_t}{(1 + TMA)^t}$$

Equação 2-6

Onde:

- FC = Fluxo de caixa;
- TMA = Taxa mínima de atratividade (taxa de desconto);
- t = período de cada fluxo de caixa.

2.4.3 Responsabilidade Ambiental e Social – R.A.S

A Conferência das Partes da Convenção - Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas – COP 21 – possuía como objetivo alcançar um acordo internacional sobre o clima, sendo aplicável a todos os países. Fortalecia o conceito de desenvolvimento sustentável, em busca de um padrão de crescimento econômico e social associado preservação ambiental e equilíbrio do clima mundial (ONU, 2015).

O governo brasileiro declarou que o país se comprometeria a reduzir 37% das emissões de gases de efeito estufa até 2025 e 43% até 2030, baseado nas emissões de 2005. Além disso, também acordou em eliminar o desmatamento ilegal em 2030, sendo esta a maior fonte de emissões brasileira (ONU, 2015).

Para reduzir as emissões de GEE é fundamental que haja investimento em energias renováveis com tecnologias que reduzam as emissões, como a energia solar fotovoltaica. A busca da sustentabilidade exige planejamento e inclusão de novas fontes de energia, impactando o mínimo possível o meio ambiente.

Várias dimensões são abordadas dentro da sustentabilidade, como a política, social, técnico-econômica e ambiental. O setor energético localiza-se em conexão com todas estas dimensões, gerando impactos positivos e negativos (INATOMI; UDAETA, 2012).

No processo de geração de energia elétrica ocorrem impactos ambientais que interferem significativamente no desenvolvimento sustentável, em que se faz necessário o entendimento a respeito deles, para serem exercidas as análises pertinentes à implementação de projetos executivos e planejamentos energéticos (BERMANN, 2008).

O sistema fotovoltaico não emite poluentes ao longo do seu funcionamento, além de ser promissora como alternativa sustentável para a geração de energia elétrica. Durante a fabricação dos materiais e sua construção ocorre a etapa com maior impacto ambiental no sistema fotovoltaico que deve ser considerada, com emissões e outros impactos associados à produção de energia para suprir os processos de fabricação, operação, instalação, transporte, manutenção e desativação dos sistemas (TOLMASQUIM, 2004).

As baterias, quando adotadas no sistema, devem ser dispostas e recicladas de forma adequada, bem como os materiais tóxicos presentes nos módulos fotovoltaicos e os componentes eletrônicos e elétricos, com vida útil média das baterias chumbo-ácido entre quatro e cinco anos e dos demais componentes entre 20 e 30 anos (BRASIL, 1999).

3 DESENVOLVIMENTO DA FERRAMENTA DE APOIO PARA TOMADA DE DECISÃO PARA SISTEMAS DE GERAÇÃO SOLAR DISTRIBUÍDA

A ferramenta proposta foi desenvolvida com base no referencial teórico e tendo como estudo de caso o projeto do Parque de Inovação e Sustentabilidade do Ambiente Construído. Desde que o PISAC foi concebido com a elaboração dos projetos executivos até chegar efetivamente à construção há fatores que podem variar quanto ao marco legal, parcerias com fornecedores, elementos materiais e até mesmo o sistema construtivo. Ainda assim, a concepção continua a mesma e não inviabiliza o desenvolvimento da ferramenta.

3.1 Parque de Inovação e Sustentabilidade do Ambiente Construído – PISAC

O PISAC é um projeto que recebe apoio da Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) e é resultado de uma parceria que envolve o Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicação (MCTIC), a Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC), o Building Research Establishment (BRE/UK), a Universidade de Brasília (UnB), por meio do Laboratório do Ambiente Construído, Inclusão e Sustentabilidade (Lacis FAU/CDS/FGA), que coordena o projeto no âmbito do convênio UnB e FINEP, com o apoio do Centro de Excelência Comunidades Integradas Sustentáveis da BRE TRUST/UnB (BLUMENSCHNEIDER et al., 2017).

Todas as informações e dados pertinentes ao PISAC para a aplicação da Ferramenta de Apoio para Tomada de Decisão para Sistemas de Geração Solar Distribuída foram fornecidas do documento Memorial Descritivo e de Materiais – Praça de Protótipos e Edifício Sede do Centro de Pesquisa e Desenvolvimento para a Inovação e Sustentabilidade (CEPAC), além de plantas descritivas para obtenção de dados (Blumenschein et al, 2017).

O PISAC é um parque com investimento em tecnologia e inovação, localizado em um ambiente de ensino e aprendizado, promovendo a integração de agentes e soluções por meio da inclusão da infraestrutura de pesquisa no país.

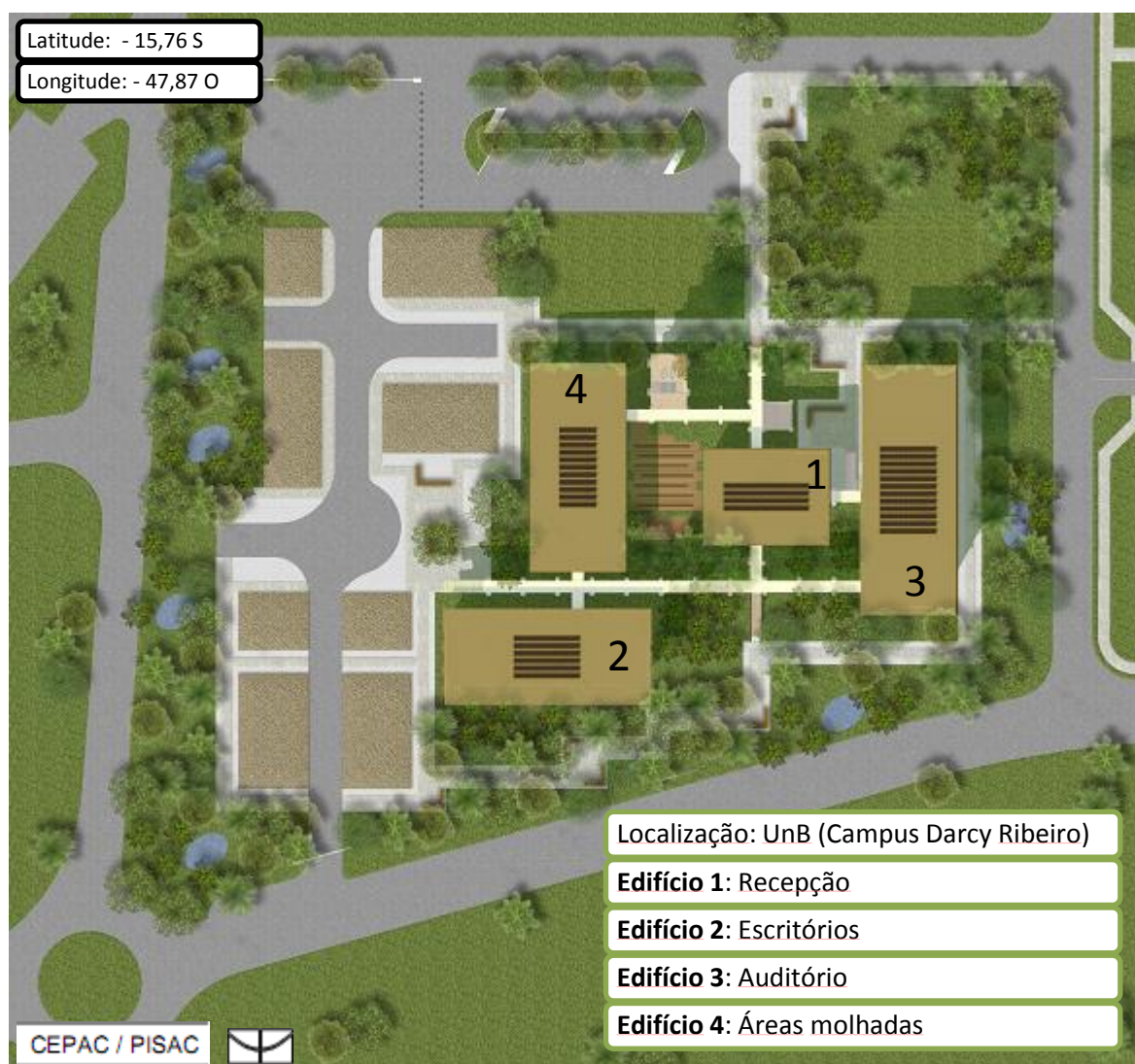


Figura 3-1: Praça de Protótipos e Edifício Sede do Centro de Pesquisa e Desenvolvimento para a Inovação e Sustentabilidade.

Fonte: DE MELO CESAR, 2018.

O parque tem como propósito ser o fomentador de mudanças de paradigmas na cadeia produtiva da construção civil, por meio do desenvolvimento e propagação da inovação e tecnologia amparadas na sustentabilidade. A concepção do PISAC contará com a integração entre espaços, sistemas operacionais, ambientes de trabalho, atividades, edificação e paisagismo, visitantes e usuários e contexto ambiental.

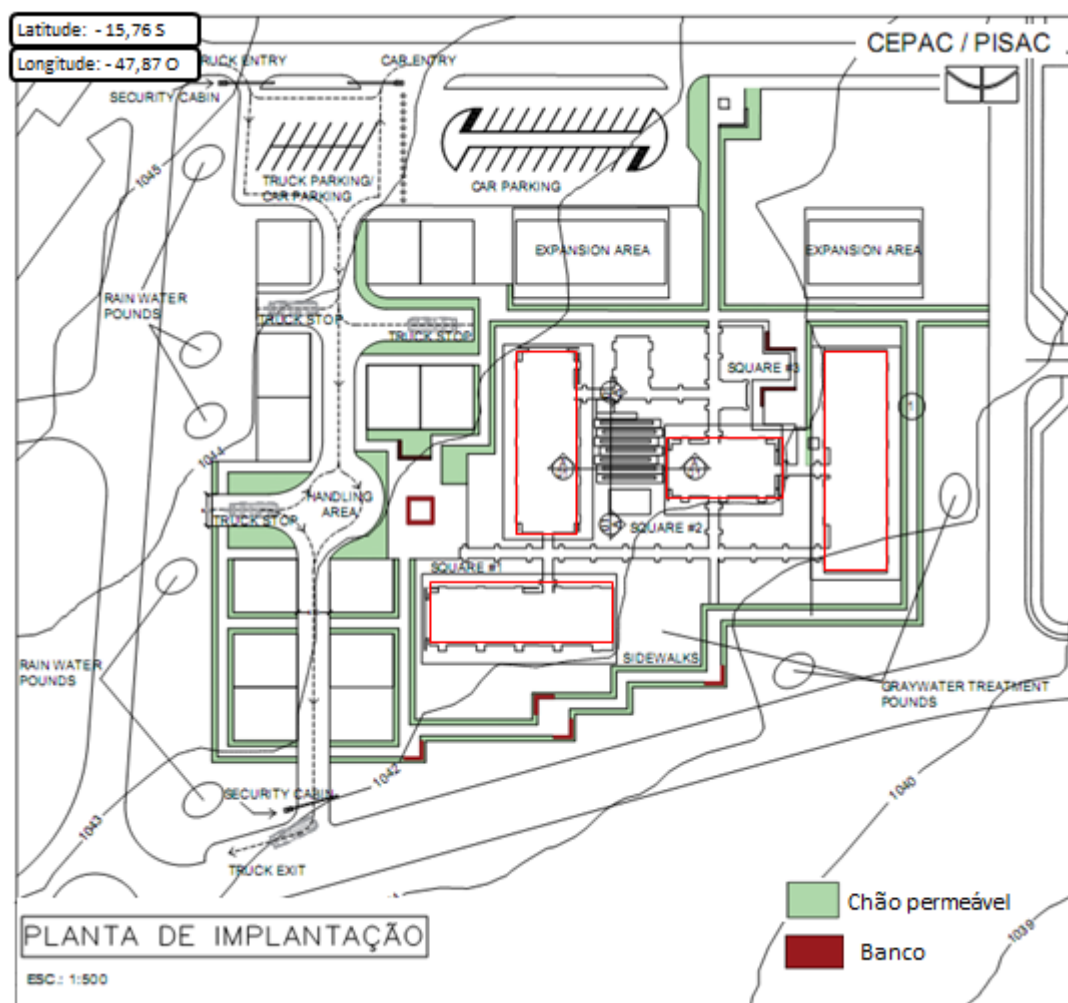


Figura 3-2: Planta baixa da implantação do Parque de Inovação e Sustentabilidade do Ambiente Construído.

Fonte: DE MELO CÉSAR, 2018.

A implantação do PISAC consiste em quatro edifícios térreos elevados do solo que serão interligadas por meio de passarelas em nível, sendo eles o auditório, a recepção, as áreas molhadas (banheiro e copa) e os escritórios. O parque foi concebido de forma que as condições de conforto e operacionalidade dependam o mínimo possível de máquinas, e faça uso de soluções e estratégias de sustentabilidade.

Alguns estudos foram realizados para que seja possível alcançar o objetivo do parque e usufruir mais do meio ambiente, assim como a análise das orientações climáticas de Brasília para o conforto térmico, estudo de sombreamentos por cartas solares, análise de aquecimento por radiação solar direta e indireta e de iluminação natural e estratégias de redução de iluminação artificial.

Os edifícios serão construídos de modo a respeitar integralmente o bioma cerrado em que está inserido, em que será efetiva a relação entre arquitetura e o ambiente natural. A segurança em relação aos recursos para sua operação, energia e água serão consideradas na concepção da construção do PISAC.

3.2 Estimativa do consumo

O consumo de energia elétrica do Parque de Inovação e Sustentabilidade do Ambiente Construído foi estimado de acordo com as plantas baixas em AutoCAD. Os dados de estimativa do consumo de eletricidade dos ambientes com seus determinados equipamentos foram tabulados. Outra tabulação foi feita para a análise do consumo pelos aparelhos de condicionamento de ar.

A redução por demanda de energia elétrica do parque é o objetivo da gestão de energia do projeto, de modo que a forma e distribuição dos espaços foram projetadas para alcançar essa meta. Reduzir o uso de iluminação artificial e usufruir da iluminação natural controlada, sem ofuscamento, além da ventilação predominante são algumas premissas a serem consideradas na tomada de decisões.

Considerando as premissas de eficiência energéticas estabelecidas na concepção do projeto executivo do PISAC (Memorial Descritivo e de Materiais: Praça de Protótipos e Edifício Sede do Centro de Pesquisa e Desenvolvimento para a Inovação e Sustentabilidade – CEPAC) foi proposta a redução de 50% de kWh do consumo médio mensal das lâmpadas dos quatro edifícios mostrado na Tabela 3-1.

Tabela 3-1: Consumo médio mensal de eletricidade do Parque de Inovação e Sustentabilidade do Ambiente Construído.

Ambiente	Equipamento	Unidades	Potência Média (W)	Tempo de funcionamento (horas)	Dias Estimados	Consumo Médio Mensal (kWh)	Consumo médio mensal com redução de 50% de kWh das lâmpadas
Recepção	computador	6	100	8	22	105,6	105,6
	impressora	1	100	0,5	22	1,1	1,1
	lâmpada	28	32	5	22	98,56	49,28
	lâmpada	11	23	5	22	27,83	13,915
Auditório	computador	2	100	4	4	3,2	3,2
	projektor	1	600	4	4	9,6	9,6
	lâmpada	93	32	8	22	523,776	261,888
	lâmpada	45	23	6	4	24,84	12,42
Áreas Molhadas	lâmpada	36	32	4	22	101,376	50,688
	lâmpada	38	23	4	22	76,912	38,456
	chuveiro	4	5500	2	22	968	968
Escritórios	computador	25	100	8	22	440	440
	impressora	2	100	1	22	4,4	4,4
	lâmpada	66	32	4	22	185,856	92,928
	lâmpada	10	23	4	22	20,24	10,12
						2591,29	2061,595

Fonte: autora.

A proposta de redução de 50% do consumo de eletricidade resultante das lâmpadas justifica-se pelas estratégias a serem aplicadas no projeto, como o controle de iluminação natural para atender aos níveis de trabalho sem ofuscamento, especificação de equipamentos e princípios de eficiência energética.

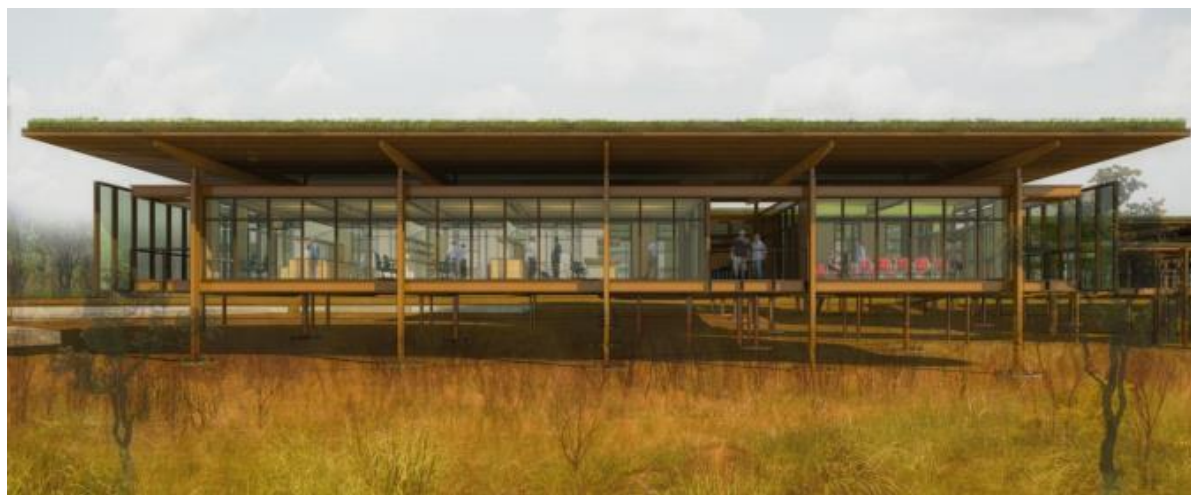


Figura 3-3: Ilustração do Parque Inovação Sustentabilidade do Ambiente Construído com integração entre edifício e vegetação.

Fonte: MIDLIN E LOEB, 2016.

Como mostra a Figura 3-3 os edifícios serão construídos com o uso da vegetação no entorno, como estratégia de sombreamento dos edifícios, para que a demanda por energia seja reduzida, diante da orientação solar e em função de ventos predominantes.

Da mesma forma, foi proposto que o consumo médio mensal de kWh no condicionamento de ar fosse reduzido em 50% como estratégia diante da ventilação natural disponível, resfriamento evaporativo nos períodos mais secos do ano, fachadas ventiladas, tratamento de envoltória definindo níveis de controle e isolamento adequados. Dessa forma, foi elaborada a *Tabela 3-2* com o consumo médio mensal no sistema de condicionamento de ar a ser instalado no PISAC.

Tabela 3-2: Consumo médio mensal de eletricidade no condicionamento de ar do Parque de Inovação e Sustentabilidade do Ambiente Construído.

Ar condicionado	Unidades	Quantidade	Consumo de energia elétrica (W)	Total (W)	Consumo médio mensal com redução de 50% de kWh do ar condicionado
CONDICIONADOR DE AR VRV-FIT (DAIKIN)	EVAPORADORA	2	186	372	186
	CONDENSADORA	1	3030	3030	1515
CONDICIONADOR DE AR VRV-FIT (DAIKIN)	EVAPORADORA	2	63	126	63
	CONDENSADORA	1	4680	4680	2340
CONDICIONADOR DE AR VRV-INOVA (DAIKIN)	EVAPORADORA	6	63	378	189
	CONDENSADORA	1	11270	11270	5635
CONDICIONADOR DE AR TIPO MULTI-SPLIT (DAIKIN)	EVAPORADORA	2	52	104	52
	CONDENSADORA	1	1550	1550	775
CONDICIONADOR DE AR VRV-FIT (DAIKIN)	EVAPORADORA	3	63	189	94,5
	CONDENSADORA	1	4680	4680	2340
CONDICIONADOR DE AR TIPO SPLIT HI-WALL (DAIKIN)	EVAPORADORA	1	52	52	26
	CONDENSADORA	1	960	960	480
			TOTAL (W):	27391	13695,5

Fonte: autora.

O consumo de eletricidade do condicionamento de ar foi calculado a partir dos dados fornecidos do PISAC em planta AutoCAD com o detalhamento dos equipamentos de condensação e evaporação e seus respectivos consumos de energia elétrica e quantidades.

Com os dados da *Tabela 3-1* e da *Tabela 3-2* foi elaborada a *Tabela 3-3* de consumo geral de kWh considerando os valores sem e com a redução de 50% do consumo de eletricidade resultante das lâmpadas e dos ares condicionados, em que para a proposta de redução será considerado o valor reduzido de 15757,095 kWh.

Tabela 3-3: Consumo médio mensal geral total de eletricidade do Parque de Inovação e Sustentabilidade do Ambiente Construído.

CONSUMO GERAL		
Consumo (kWh)	Sem redução	Com redução
Ambiente	2591,29	2061,595
Ar Condicionado	27391	13695,5
TOTAL	29982,29	15757,095

Fonte: autora.

3.3 Dimensionamento do Sistema de Geração Solar distribuída no PISAC

Para a realização do dimensionamento fotovoltaico foi fundamental realizar algumas análises iniciais para identificar quantas placas serão necessárias para atender à demanda por energia elétrica do PISAC.

As estruturas dos edifícios a serem utilizadas foram especificadas com base na possibilidade de desmontagem, transporte e remontagem de toda a estrutura, em que a maioria das ligações é do tipo apoio simples. Além disso, foram utilizados elementos de vedação horizontais, pisos e coberturas, que possibilitam, em sua maioria, o mesmo perfil de mobilidade da estrutura como mostra a *Figura 3-4*.

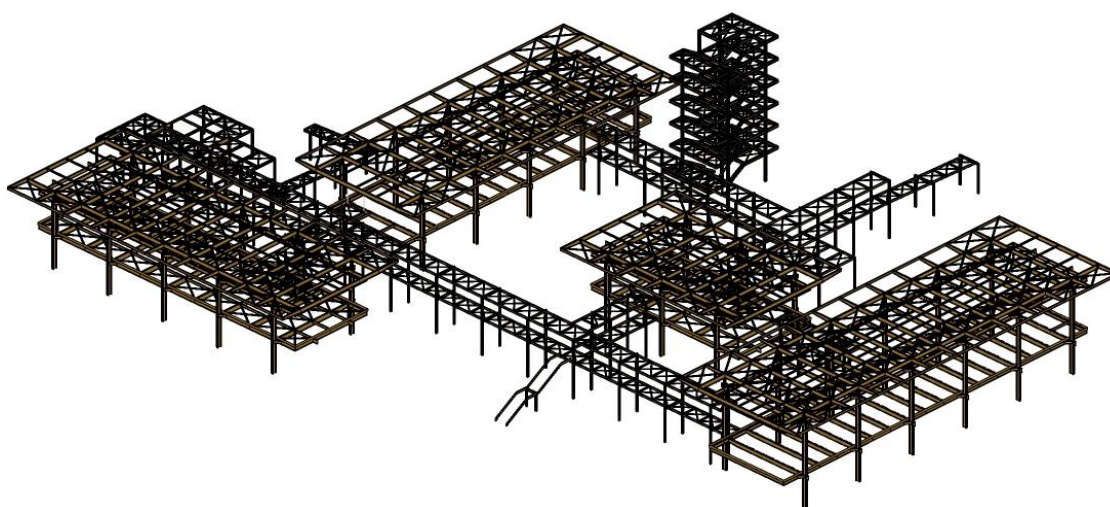


Figura 3-4: Estrutura metálica do Parque de Inovação e Sustentabilidade do Ambiente Construído.
Fonte: MINDLIN E LOEB, 2016.

Primeiramente é primordial identificar quanto cada edifício suportaria de sobrecarga diante da disposição das placas fotovoltaicas sobre a cobertura. Assim, foi realizada a análise estrutural dos quatro edifícios com o auxílio do software *Robot Structural Analysis Professional* para encontrar a sobrecarga máxima que suportaria a estrutura metálica com a carga atuante das placas fotovoltaicas.

Para a realização da simulação de cargas dos edifícios, primeiramente foram identificadas três plantas baixas: uma do pavimento térreo, uma do pavimento superior e outra da cobertura, em que foi considerada apenas a última. Após lançada no programa foi obtida a Figura 3-5. São respeitados, para lançar as vigas, os tamanhos especificados no arquivo do banco de dados fornecido, em que as linhas pretas escuras são as vigas.

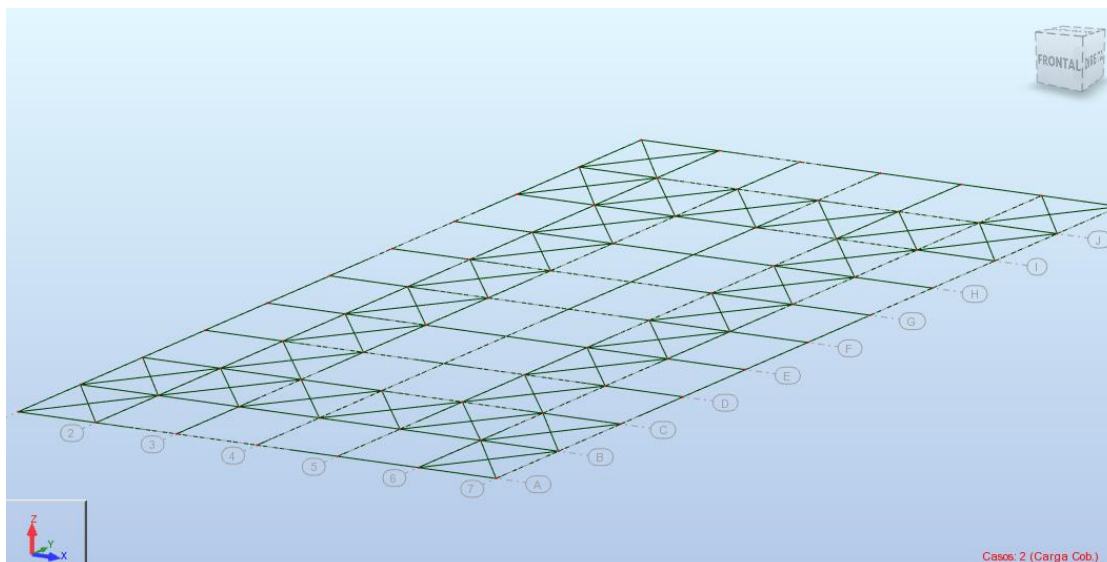


Figura 3-5: Tamanho da projeção da cobertura pelo software *Robot Structural Analysis Professional*.
Fonte: autora.

De acordo com o Gráfico 3-1 e Gráfico 3-2 são observadas as velocidades do vento no ano de 2014 a 10 metros na estação de Brasília (MRM – ID 10), com os resultados da validação dos dados radiométricos e meteorológicos, segundo informações da SONDA (Sistema de Organização Nacional de Dados Ambientais). Evidencia-se a rosa dos ventos do mês de outubro, pois 100% dos dados são confiáveis, de acordo com informações da SONDA.

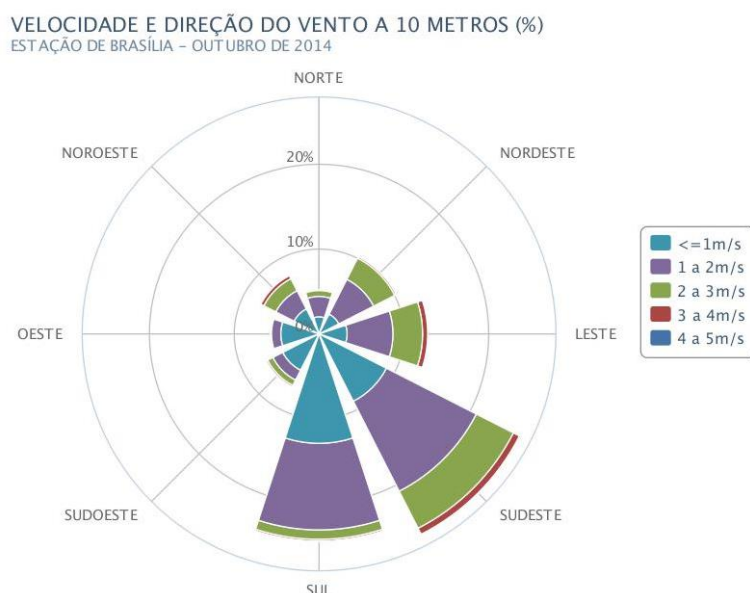


Gráfico 3-1: Velocidade e direção do vento a 10 metros (%).
Fonte: Estação de Brasília (MRM – ID 10)

VELOCIDADE DO VENTO

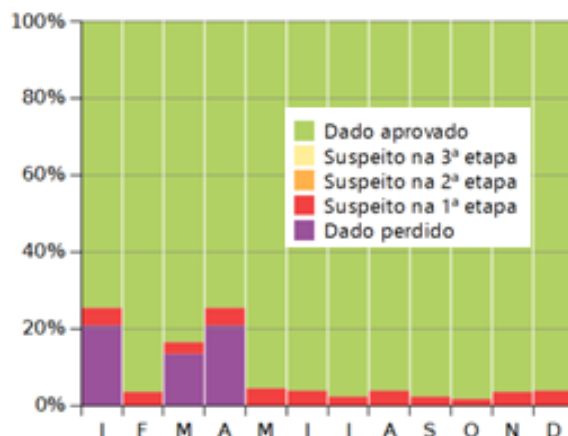


Gráfico 3-2: Velocidade do vento.

Fonte: SONDA.

De acordo com a NBR 6123/1988 tem-se o mapa das isopletas que indica as velocidades médias do vento em m/s de cada região do Brasil, sendo que o DF apresenta 6 m/s como velocidade média dos ventos.

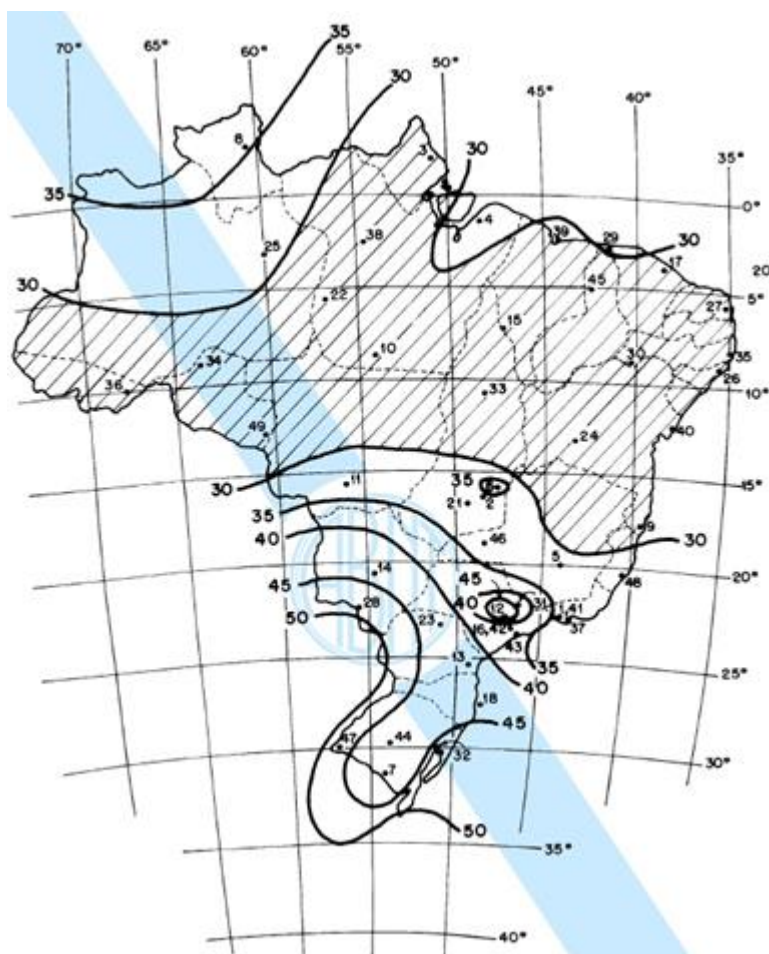


Figura 3-6: Isopletas de velocidade básica (m/s)

Fonte: NBR 6123/1988

Foi desconsiderada a força do vento para os cálculos por motivo de gerar muitas combinações, e a força não ser de grande velocidade, pelas isopletas com velocidade característica do vento. Tem-se que a velocidade de vento no DF é considerado 6 m/s enquanto em outros locais mais influentes variam de 20 a 45 m/s. Claro, que o vento influencia, porém mais para empurrar a estrutura para cima, do que para baixo. Como o interessante é que a força esteja para baixo, desconsidera-se.

De acordo com o memorial descritivo fornecido com os dados, o perfil que será utilizado para sustentação dos painéis solares é de Madeira Laminada Colada (MLC) com espessura de 12 cm, revestidos por alvitra (camada fina de alumínio que serve para evitar o contato direto da madeira com água da chuva). O peso próprio do painel é de 0,17 kN/m² (Fapesp, 2007).

Pelo método dos quinhões de carga as cargas foram distribuídas pelas vigas em que foram transformadas em carga linear distribuída em todas as vigas que se encontram na extremidade ($\text{peso/m}^2 \times \text{área} = \text{carga linear}$). Lançando no *Robot* da Autodesk configurou-se a estrutura como mostra a Figura 3-7.

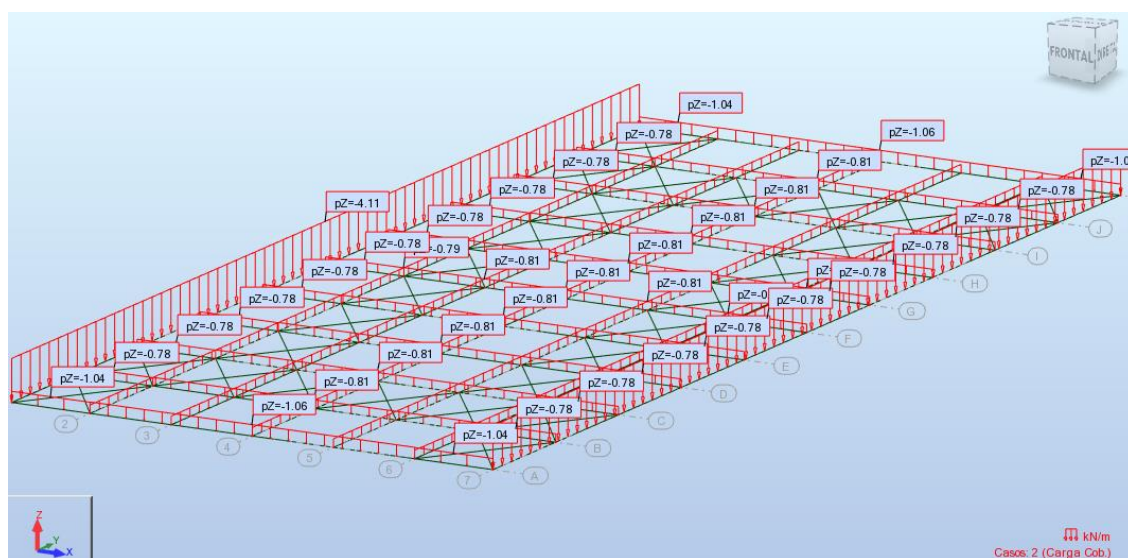


Figura 3-7: Distribuição das cargas com o método dos quinhões pelo software *Robot Structural Analysis Professional*.

Fonte: autora.

É possível verificar no arquivo da planta baixa da cobertura onde estão os apoios. Está indicado como “LM” que significa Ligação a Momento Fletor, logo, é considerado para cálculos como engastada a estrutura nos pontos onde tem LM. São lançados os apoios engastados em que não são geradas instabilidades nos pontos, configurando a estrutura como mostra a Figura 3-8.

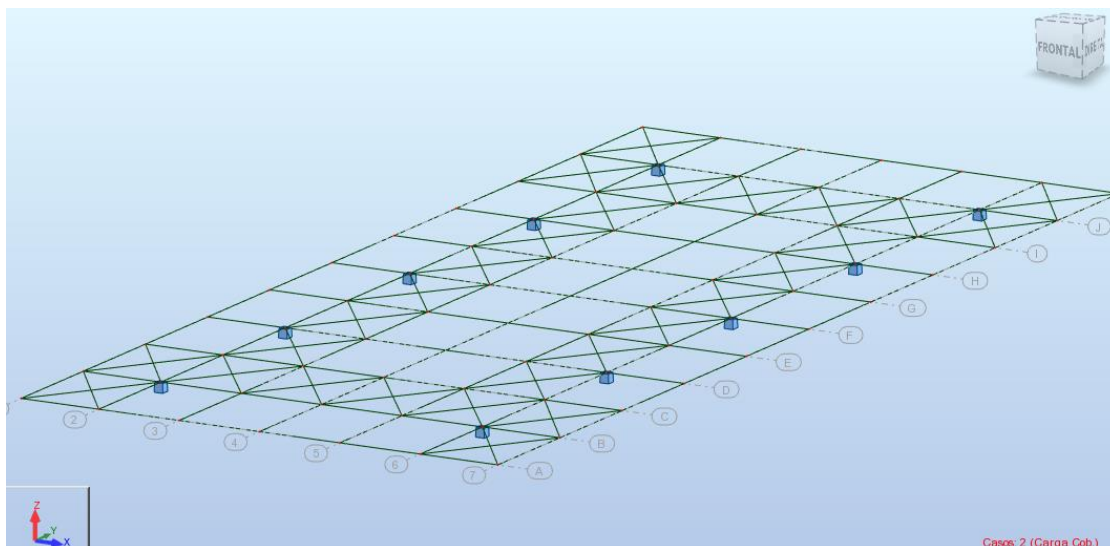


Figura 3-8: Lançamento dos apoios engastados pelo software *Robot Structural Analysis Professional*.

Fonte: autora.

A partir das características dos perfis encontrados nos Perfis Estruturais Gerdau (link de acesso: <https://www.gerdau.com/br/pt/produtos/perfis-estruturais-gerdau#ad-image-0>), os dados dos perfis utilizados em cada cobertura dos edifícios foram inseridos no software *Robot Structural* a fim de lançar as seções de cada perfil. Estão especificados na Tabela 3-4, Tabela 3-5, Tabela 3-6 e Tabela 3-7 todos os perfis utilizados na cobertura dos quatro edifícios, respectivamente.

Tabela 3-4: Dados dos perfis utilizados na cobertura do edifício 1 (Recepção).

LISTA PRELIMINAR DE MATERIAL			
MATERIAL	PESO (Kg/m)	COMPR. (m)	P. TOTAL (t)
<i>Cobertura</i>			
W 150 x 13	13,0	64,80	0,84
W 250 x 22,3	22,3	43,20	0,96
W 460 x 52	52,0	43,20	2,25
W 460 x 60	60,0	73,64	4,42
PS 460-250 x 52	52,3	35,56	1,86
T 76 x 6,4	14,6	178,40	2,60
		TOTAL =	12,93

Fonte: Banco de dados do PISAC.

Tabela 3-5: Dados dos perfis utilizados na cobertura do edifício 2 (Auditório).

LISTA PRELIMINAR DE MATERIAL			
MATERIAL	PESO (Kg/m)	COMPR. (m)	P. TOTAL (t)
<i>Cobertura</i>			
W 150 x 13	13,0	129,60	1,68
W 250 x 22,3	22,3	86,40	1,93
W 460 x 52	52,0	86,40	4,49
W 460 x 60	60,0	126,24	7,57
PS 460-250 x 52	52,3	60,96	3,19
T 76 x 6,4	14,6	263,40	3,85
		TOTAL =	22,71

Fonte: Banco de dados do PISAC.

Tabela 3-6: Dados dos perfis utilizados na cobertura do edifício 3 (Escritórios).

LISTA PRELIMINAR DE MATERIAL			
MATERIAL	PESO (Kg/m)	COMPR. (m)	P. TOTAL (t)
<i>Cobertura</i>			
W 150 x 13	13,0	108,00	1,40
W 250 x 22,3	22,3	72,00	1,61
W 460 x 52	52,0	72,00	3,74
W 460 x 60	60,0	115,72	6,94
PS 460-250 x 52	52,3	55,88	2,92
T 76 x 6,4	14,6	250,40	3,66
		TOTAL =	20,27

Fonte: Banco de dados do PISAC.

Tabela 3-7: Dados dos perfis utilizados na cobertura do edifício 4 (Áreas Molhadas).

LISTA PRELIMINAR DE MATERIAL			
MATERIAL	PESO (Kg/m)	COMPR. (m)	P. TOTAL (t)
<i>Cobertura</i>			
W 150 x 13	13,0	129,60	1,68
W 250 x 22,3	22,3	86,40	1,93
W 460 x 52	52,0	86,40	4,49
W 460 x 60	60,0	126,24	7,57
PS 460-250 x 52	52,3	60,96	3,19
T 76 x 6,4	14,6	263,40	3,85
		TOTAL =	22,71

Fonte: Banco de dados do PISAC.

As estruturas finais dos edifícios configuram-se como mostra a Figura 3-9, com todas as informações inseridas para realizar a análise de tensões e encontrar os máximos e mínimos nas barras e nos nós das estruturas.

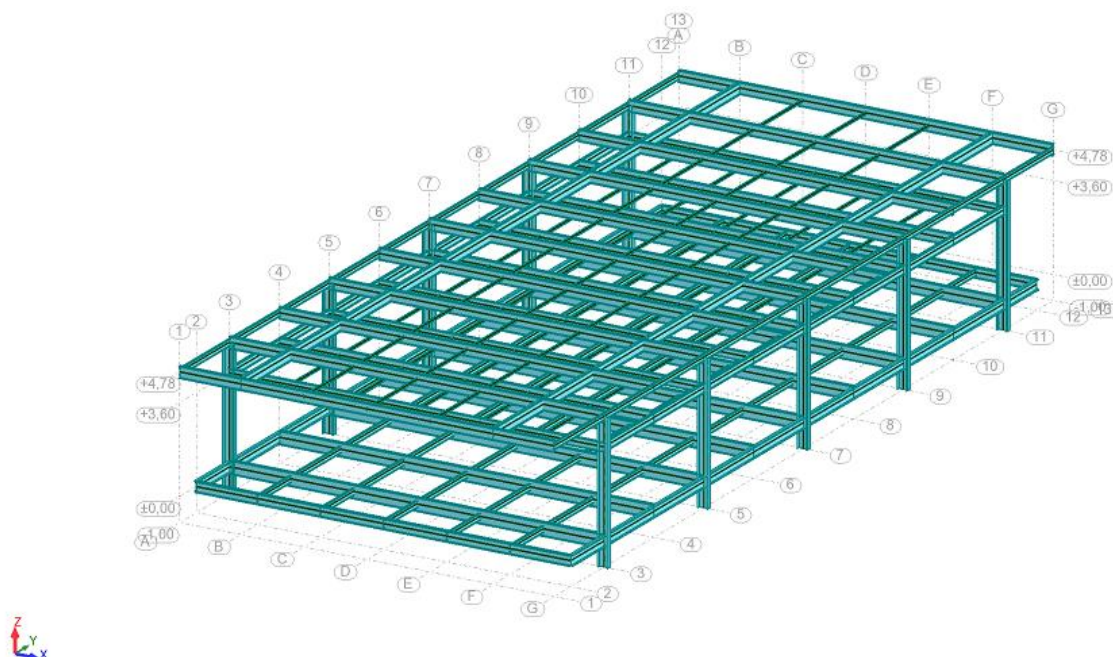


Figura 3-9: Análise de tensões pelo software *Robot Structural Analysis Professional*.
Fonte: autora.

O programa gera a cada barra e nó que são adicionados, um número novo. Como resultado são geradas algumas tabelas de análise de tensão, sendo elas a de todas as tensões geradas na estrutura, a envoltória e os valores de máximos e mínimos.

Na engenharia civil, na área de estruturas, recomenda-se trabalhar sempre no regime elástico, e não no plástico, pois se o material atingir o regime plástico significa que ele continua a se deformar conforme carregado, porém não retorna ao estado original. Essa situação não é interessante tendo em vista que o elemento fica deformado e os usuários se sentem inseguros a utilizar os mesmos.

O gráfico de tensão *versus* deformação do tipo de aço utilizado, de acordo com o fabricante, ASTM A572 Gr. 50 (link de acesso <http://www.tenax.com.br/tenax/produtos/chapas-e-placas-de-aco/astm-a572-gr-50/>) apresenta a tensão limite para carregamentos nas estruturas de 345 Mpa. É comum utilizar um fator de segurança de 1,5 até 2, sendo adotado 1,5 para esse caso obtendo uma tensão admissível de 230 Mpa.

Quadro 3-1: Tipos de combinações de carregamentos.

Combinações dos carregamentos	
Caso A (1)	Peso próprio da estrutura
Caso B (2)	Carga da Cobertura
Caso C (3)	Peso próprio + carga da cobertura

Em relação às combinações dos carregamentos em uma estrutura existem três casos, sendo que o caso C é a maior combinação, e se atender a ela atende às outras.

Foram realizadas as análises das tensões dos quatro edifícios. Assim, foram encontrados os seguintes valores de tensão máxima gerada nas estruturas mostrados na Tabela 3-8. Os valores de tensão limite encontrados são a diferença entre o máximo gerado em cada estrutura e a tensão admissível de 230 Mpa.

Tabela 3-8: Resultados das análises de tensões dos quatro edifícios.

Edifícios	Máximo gerado na estrutura (Mpa)	Número da Barra	Tensão limite (Mpa)
1. Recepção	205,28	34	24,72
2. Auditório	216,38	1	13,62
3. Escritórios	204,93	88	25,07
4. Áreas Molhadas	205,32	46	24,68

Fonte: autora.

De acordo com a Figura 3-10 é possível identificar as dimensões dos quatro edifícios e suas respectivas áreas disponíveis.

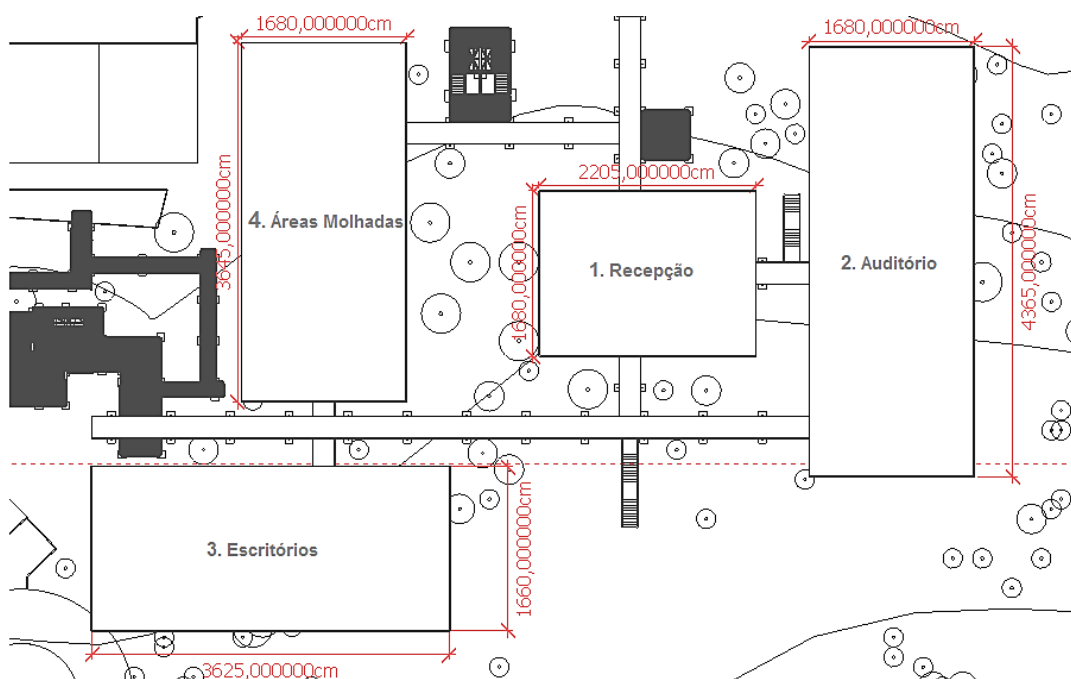


Figura 3-10: Planta baixa da cobertura dos quatro edifícios do PISAC.

Fonte: Banco de dados do PISAC.

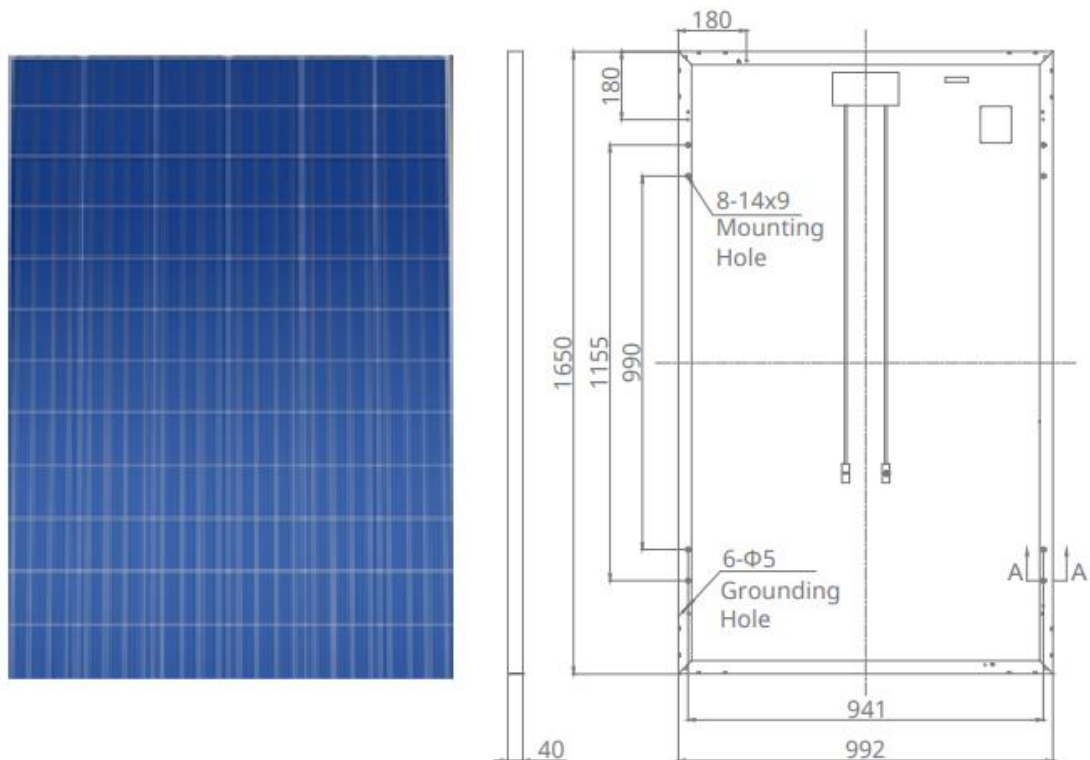
Tabela 3-9: Identificação dos edifícios e suas áreas disponíveis.

Edifícios	Dimensões (cm)		Área Total de cobertura (cm²)
1. Recepção	2205	1680	3704400
2. Auditório	4365	1680	7333200
3. Escritórios	3625	1660	6017500
4. Áreas molhadas	3645	1680	6123600

Fonte: Banco de dados do PISAC.

Sendo $Tensão = Força / Área$ é possível encontrar qual a força adicional que as estruturas podem receber. Tendo em vista que os valores de tensão limite encontrados para cada edifício possuem grandeza elevada, pode-se concluir que seria possível a instalação da ordem de milhões de placas em relação à área total da cobertura. Assim, o fator limitante não é a sobrecarga gerada pelas placas nos edifícios, e sim as áreas disponíveis para a instalação destas.

O painel estipulado para o projeto foi o *Canadian Solar CS6K – 270 P*. O tipo de célula é policristalino com um total de 60 células e conector T4-1000V ou PV2 series.

**Figura 3-11:** Informações sobre a placa Canadian Solar CS6K – 270 P.

Para melhor aproveitar a incidência solar, a maneira mais apropriada para instalar um módulo solar de modo fixo no Brasil é orientá-lo com sua face voltada para o Norte geográfico, como mostrado na Figura 3-12 (CRESESB, 2006).

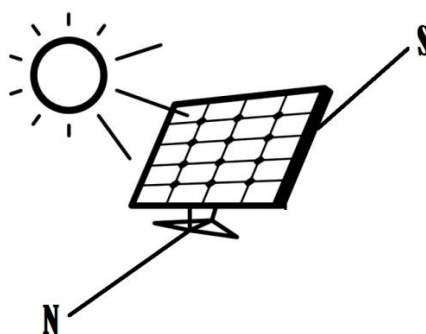


Figura 3-12: Orientação do painel fotovoltaico.

A inclinação do módulo fotovoltaico para melhor aproveitar a incidência solar deve ser orientada em função da latitude do local onde ele será instalado, como mostra o Quadro 3-2. Não se recomenda a instalação com ângulos de inclinação inferiores a 10° para evitar acúmulo de poeira sobre as placas fotovoltaicas.

Quadro 3-2: Ângulo de inclinação recomendado para painéis fotovoltaicos.

Latitude do local	Ângulo de inclinação recomendado
0° a 10°	10°
11° a 20°	Latitude
21° a 30°	Latitude + 5°
31° a 40°	Latitude + 10°
> 41°	Latitude + 15°

Fonte: Installation and Safety Manual of the Bosch Solar Modules.

Tendo em vista, e sabendo que a latitude da Universidade de Brasília é de 15° 45' 45,6" S os painéis solares dimensionados para este projeto serão instalados com inclinação igual à latitude (15°) voltados para o Norte geográfico.



Figura 3-13: Mapa de localização da Universidade de Brasília.
Fonte: Google Maps.

É de importante examinar durante o processo de pré-instalação a melhor localização do gerador fotovoltaico. Recomenda-se que os painéis fotovoltaicos sejam instalados o mais próximo possível do local de uso da eletricidade para evitar as perdas devido à queda de tensão nos cabos em casos de sistemas *off-grid* e em locais de boa incidência de radiação solar, sendo avaliado o efeito de sombreamento provocado pela sombra das placas nas adjacentes (CEPEL-CRESESB, 2004).

As fileiras de geradores fotovoltaicos devem ser colocadas suficientemente distantes umas das outras para evitar o sombreamento entre fileiras adjacentes. A Equação 3-1 apresenta um método para estimar a distância mínima que o gerador fotovoltaico deve ser colocado da fonte de sombreamento, que no caso será a própria placa fotovoltaica. Esse método é aproximado com estimativa simples e conservadora, em que a sombra do obstáculo é considerada de modo a encobrir todo o painel, o que comumente não ocorre.

$$d = Fe (h_{ob} - h_i)$$

Equação 3-1

Onde:

- d : distância mínima a ser mantida entre o gerador fotovoltaico e o obstáculo [m];
- Fe : fator de espaçamento obtido pela curva do Gráfico 3-3;
- h_{ob} = altura do obstáculo [m];
- h_i = altura de instalação do gerador fotovoltaico [m].

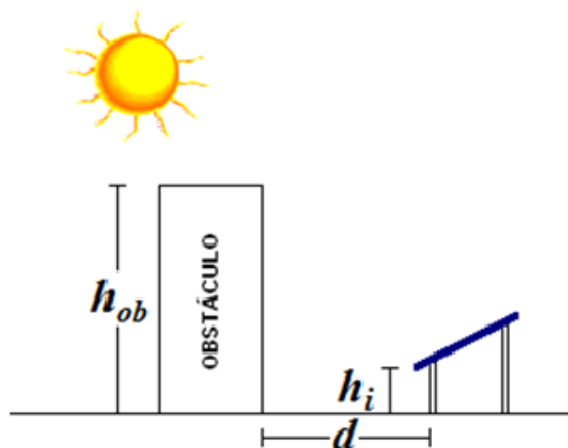


Figura 3-14: Ilustração para definição do espaçamento mínimo entre gerador fotovoltaico e obstáculo, para evitar sombreamento.

Fonte: PINHO et al., 2008.

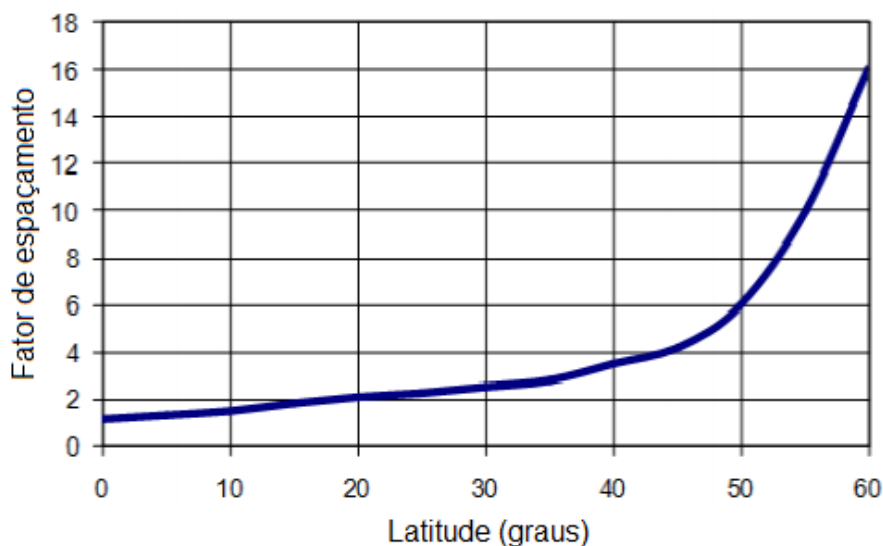


Gráfico 3-3: Fator de espaçamento versus latitude do local da instalação do gerador fotovoltaico.

Fonte: PINHO et al., 2008.

Dessa forma, com o valor de 15° para a instalação dos painéis fotovoltaicos tem-se o fator de espaçamento igual a dois, de acordo com a Figura 3-14. Nesse caso não há altura de instalação do gerador fotovoltaico com o solo, sendo o valor de h_i igual à zero.

Assim, a distância mínima a ser mantida entre o gerador fotovoltaico de uma fileira com o de outra é 0,512 metros, com o esquema do triângulo de inclinação sendo mostrado na Figura 3-15.

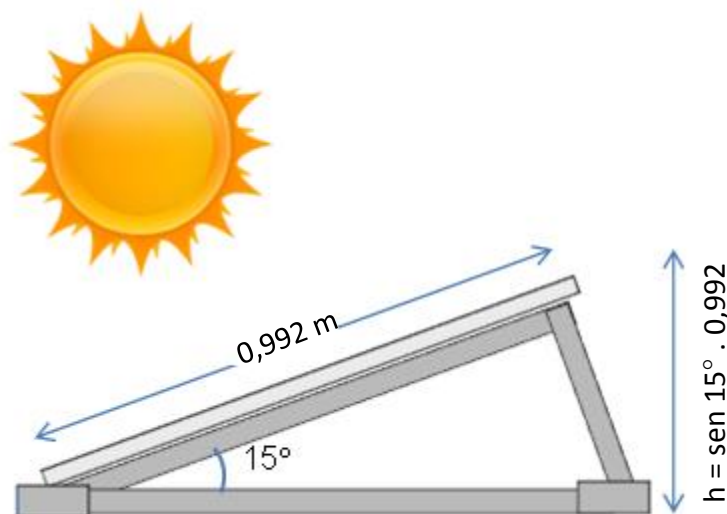


Figura 3-15: Esquema do triângulo de inclinação da placa fotovoltaica com o solo.
Fonte: autora.

O consumo médio mensal geral total de eletricidade do Parque de Inovação e Sustentabilidade do Ambiente Construído é igual a 15757,1 kWh (Tabela 3-3). O Tipo de ligação é trifásica, sendo a classe a comercial (Quadro 2-2). O cálculo da energia de geração pode ser realizado de acordo com a Equação 3-2.

$$E_{\text{geração}} = \frac{(\text{consumo médio mensal}) - (\text{disponibilidade mínima})}{30 \text{ dias}}$$

Equação 3-2

$$E_{\text{geração}} = \frac{15757,1 - 100}{30 \text{ dias}}$$

$$E_{\text{geração}} = 521,9 \text{ kWh/dia}$$

Com o auxílio do CRESESB e sua ferramenta de apoio ao dimensionamento de sistemas fotovoltaicos foram inseridos os valores de latitude e longitude da Universidade de Brasília. A Tabela 3-10 apresenta o valor médio diário anual de HSP de Brasília igual a 5,28 h/dia.

Tabela 3-10: Irradiação solar diária média mensal. Cálculo no Plano Inclinado, Município: Brasília, DF - BRASIL.

Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m ² .dia]												
		Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média
Plano Horizontal	0° N	5,4	5,74	5,05	5,1	4,8	4,7	5	5,77	5,7	5,59	5,08	5,44	5,28
Ângulo igual a latitude	16° N	5	5,5	5,1	5,5	5,6	5,6	5,8	6,47	5,9	5,45	4,75	4,98	5,47
Maior média anual	18° N	4,9	5,45	5,08	5,5	5,6	5,7	5,9	6,53	5,9	5,41	4,69	4,9	5,47
Maior mínimo mensal	5° N	5,3	5,7	5,1	5,2	5,1	5	5,3	6,03	5,8	5,58	5	5,32	5,37

Fonte: CRESESB, *sundata*.

Em relação às perdas de energia do sistema solar fotovoltaico, o Quadro 3-3 demonstra rendimento global igual a 80%.

Quadro 3-3: Perdas de Energia e rendimento do sistema solar fotovoltaico estimados.

Perdas de Energia (η rendimento)	Faixa de perdas (%)
Perdas por temperatura	0,885
Incompatibilidade elétrica	0,985
Acúmulo de sujeira	0,980
Cabeamento CC	0,990
Cabeamento CA	0,990
Inversor	0,960

Fonte: RÜTTER, 2004.

O cálculo da potência total dos painéis é realizado de acordo com a Equação 3-3, sendo encontrado o valor de 123,6 kWh.

$$P_{total\,painéis} = \frac{E_{geração}}{(HSP) \cdot (\eta)} \text{ [kWp]}$$

Equação 3-3

$$P_{total\,painéis} = \frac{521,9}{(5,28) \cdot (0,80)}$$

$$P_{total\,painéis} = 123,6 \text{ kWh}$$

O cálculo da quantidade de painéis necessários para gerar energia elétrica suficiente para o consumo médio mensal geral total do PISAC é realizado com a razão entre o valor de potência total dos painéis e o valor de potência de um painel.

A placa fotovoltaica escolhida foi *Canadian Solar CS6K – 270 P*. A Equação 3-4 apresenta o cálculo com a quantidade encontrada de 458 painéis.

$$\begin{aligned} \text{Número}_{\text{painéis}} &= \frac{P_{\text{total}_{\text{painéis}}}}{P_{\text{painel escolhido}}} \\ \text{Número}_{\text{painéis}} &= \frac{123,6 \times 10^3}{270} \\ \text{Número}_{\text{painéis}} &= 458 \text{ painéis} \end{aligned} \quad \text{Equação 3-4}$$

No caso de ser utilizado o consumo de energia elétrica de 100%, sem a redução de consumo dos equipamentos de ar condicionado e das lâmpadas, o valor seria de 29982,29 kWh. Assim, seriam necessários 874 painéis fotovoltaicos para o suprimento de energia elétrica dos edifícios. Para o dimensionamento do sistema fotovoltaico será considerada a proposta do trabalho em reduzir em 50%.

As placas fotovoltaicas devem ser distribuídas entre os quatro edifícios que compõem o PISAC, conforme a sua área disponível. De acordo com as áreas disponíveis de cada edifício foi elaborada a Tabela 3-11 com a distribuição do número de placas que cada área de cobertura comporta.

Tabela 3-11: Número de placas fotovoltaicas que cada edifício comporta.

Edifícios	Área Total de cobertura (m²)	Espaçamento (m)	Área Utilizada (m²)	Nº de strings	Nº de strings utilizados	Nº de painéis	Nº de painéis utilizados	Placas totais
Recepção	370,440	0,512	214,843	11	7	13	13	91
Auditório	733,320	0,512	475,200	10	8	29	25	200
Escritórios	601,750	0,512	478,691	11	10	22	20	200
Áreas molhadas	612,360	0,512	429,792	10	9	24	20	180
								671

Fonte: autora.

Tendo em vista que as áreas disponíveis admitem a instalação de mais placas do que o suficiente para a geração de eletricidade requerida para o consumo do PISAC haverá geração excedente de energia elétrica que pode ser utilizada na Universidade de Brasília.

Toda a energia elétrica injetada na rede pelo sistema gerador é “emprestada” à distribuidora que compensa sobre o consumo de eletricidade por meio de créditos de energia, ambos em *Watts*. A compensação pode ser dada à unidade consumidora (a primeira a ter seu consumo compensado) ou à outra, por meio da modalidade de autoconsumo remoto, mas que devem pertencer ao mesmo titular em CPF ou CNPJ (ANEEL, 2012).

Cada edifício deve possuir um inversor instalado para exercer a função de inverter a corrente da energia elétrica gerada pelos painéis de corrente contínua (CC) para corrente alternada (CA). Além disso, também são capazes de garantir a segurança do sistema e medir a energia elétrica produzida.

Para o dimensionamento dos inversores é necessário estabelecer os parâmetros da placa fotovoltaica. O número de placas deve ser multiplicado pela potência de uma placa para determinar a potência instalada em cada edifício, sendo que cada um deve possuir seu inversor. Na Tabela 3-12 são estabelecidos os inversores da ABB, sendo definidos os valores de potência instalada dos quatro edifícios.

Tabela 3-12: Dimensionamento dos inversores.

Dimensionamento dos inversores					
Edifício	Número de placas	Potência da placa (W)	Potência Instalada (kW)	Potência de entrada do inversor (kW)	Modelo do inversor
Recepção	91	270	26,500	60	ABB – TRIO 27.6 – TL.OUTD
Auditório	200	270	53,000	60	ABB – TRIO 60.0 – TL.OUTD
Escritórios	200	270	53,000	60	ABB – TRIO 60.0 – TL.OUTD
Áreas molhadas	180	270	42,400	60	ABB – TRIO 60.0 – TL.OUTD

Fonte: autora.

O inversor da marca ABB foi determinado, em razão de possuir fábricas dos seus produtos no Brasil facilitando a logística de importação do inversor.

Com a utilização da ferramenta *Power-One Aurora Stringsizer* foi realizado o *design* do sistema fotovoltaico para os quatro edifícios apresentado no Apêndice A. No Anexo C há a explicação detalhada de como realizar o dimensionamento com a ferramenta online.

3.4 Análise Econômica

A análise de custos da implantação do sistema solar fotovoltaico no PISAC visa apresentar uma estimativa do valor de investimento para a instalação do sistema proposto. Realizou-se uma cotação dos preços de mercado referentes aos equipamentos necessários para montar um sistema solar fotovoltaico conectado à rede e gerar energia elétrica. São apresentados os valores aproximados de itens referentes ao projeto no Quadro 3-4.

Quadro 3-4: Custos do Sistema Solar Fotovoltaico.

PLANILHA DE CUSTOS DO SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO					
Placa Solar	Modelo	Unidades	Valor Unitário	Valor Total	Link de acesso
Painel fotovoltaico	<i>Canadian Solar CS6K-270 P</i>	671	R\$ 760,00	R\$ 509.960,00	https://atacadosolar.com.br/loja/painel-solar-fotovoltaico-canadian-solar-cs6k-270p-270-wp.html
Inversor	<i>ABB-TRIO 27.6-TL.OUTD</i>	1	R\$ 33.542,20	R\$ 33.542,20	https://lojavirtual.bioenergysolutions.com.br/produto/inversor-solar-abb-276kwp-trio-27-6-tl-outd/
Inversor	<i>ABB-TRIO 60.0-TL.OUTD</i>	3	R\$ 53.441,33	R\$ 160.323,99	https://lojavirtual.bioenergysolutions.com.br/produto/trio-60-0-tm-outd/
Instalação e montagem	Sistema fotovoltaico	15%	15%	R\$ 105.573,93	
TOTAL: R\$ 809.400,12					

Fonte: autora.

A instalação e a montagem foram estimadas em 15% do valor total do projeto. Os equipamentos auxiliares como os cabos e conexões, além da engenharia necessária para a adequação dos componentes do sistema estão inseridos nesse percentual.

A vida útil dos painéis fotovoltaicos é estimada entre 20 e 30 anos, com garantia de produção com pelo menos 80% da capacidade, e corresponde a aproximadamente 65% do custo total do sistema. Já os inversores possuem vida útil de 10 anos, e representam em torno de 20% do custo total.

Quadro 3-5: Vida útil dos equipamentos.

Equipamento	Vida útil
Painel fotovoltaico	20 a 30 anos
Inversor	10 anos

Fonte: EPE, 2011.

Os valores dos custos de operação e manutenção encontram-se em torno de 1 a 2% do investimento total do sistema fotovoltaico, tendo em vista que os equipamentos possuem longa vida útil e a única atividade que deve ser realizada é a limpeza dos painéis para evitar o acúmulo de sujeira (Quadro 3-5).

A viabilidade econômica está relacionada com os recursos financeiros existentes para executar um projeto, considerando as receitas que, possivelmente, se espera obter. Será realizada uma análise econômica simplificada relacionando os critérios de análise de retorno de investimento financeiro e análise de compensação do gasto de energia elétrica do parque com avaliação de geração de eletricidade excedente.

No Apêndice B encontra-se a planilha realizada no Excel da análise de investimento do projeto, com os valores de VPL, TIR, *payback* simples e descontado.

O tempo de *payback* é o indicador que define o período de tempo de recuperação do capital investido. Quando é alcançado esse prazo, o retorno gerado torna-se lucro até o fim da vida útil (MARQUEZAN, BRONDANI, 2006).

O Gráfico 3-4 demonstra o *payback* simples com o retorno do investimento do sistema em quatro anos, 11 meses e 29 dias. O período de tempo foi estipulado de acordo com o a vida útil do inversor de dez anos.

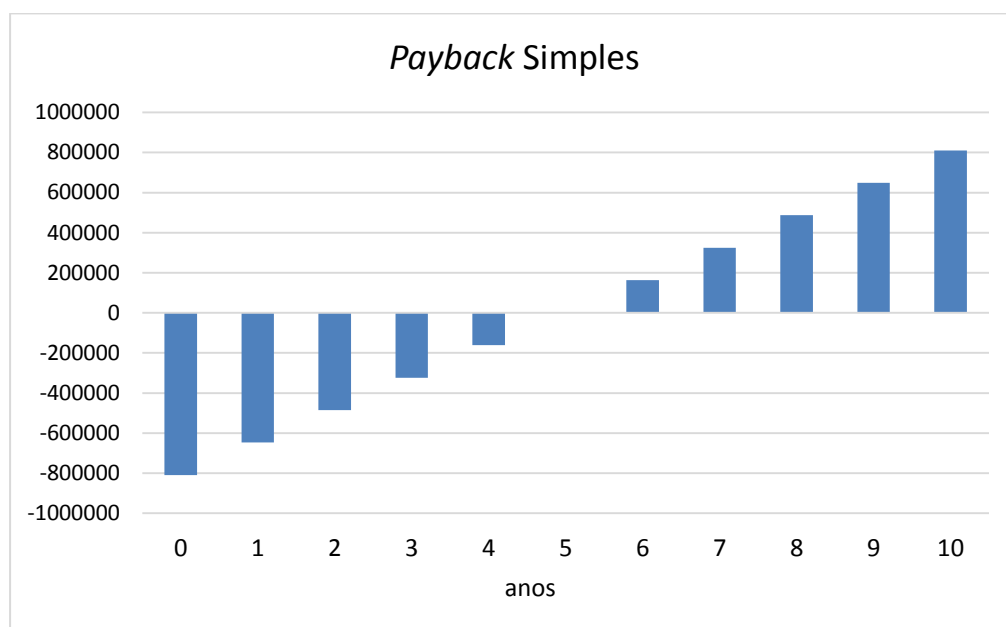


Gráfico 3-4: *Payback* simples.
Fonte: autora.

O *payback* descontado é capaz de demonstrar o período de tempo necessário para recuperar o investimento inicial considerando o valor do dinheiro no tempo aplicando uma taxa de desconto. O período de retorno é dado em sete anos, três meses e oito dias.

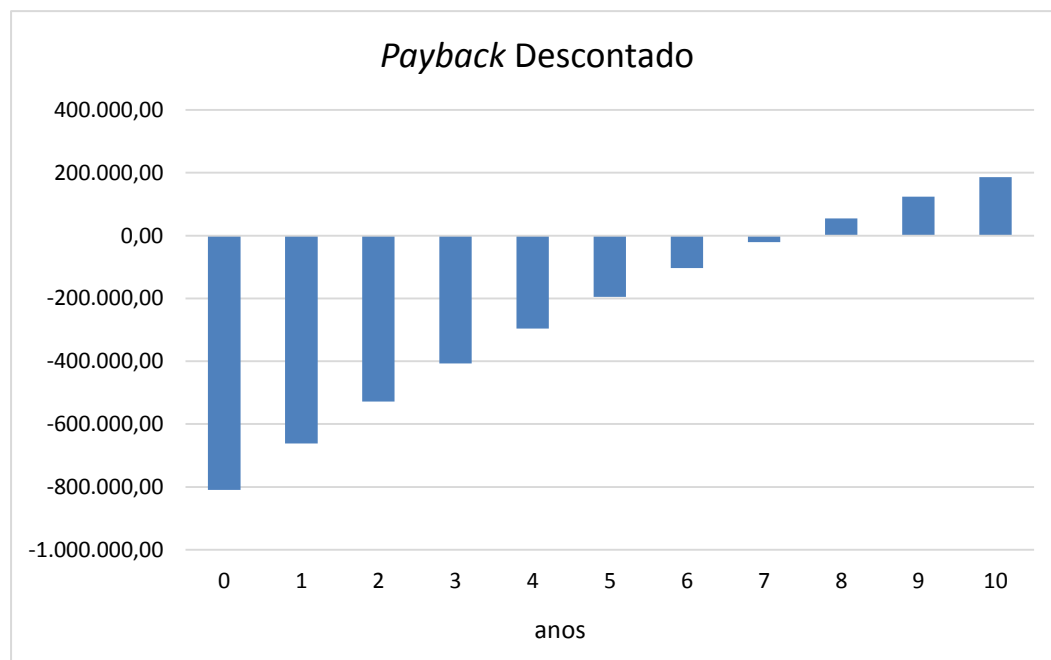


Gráfico 3-5: Payback descontado.
Fonte: autora.

O *payback* simples não considera o valor do dinheiro no tempo como o descontado demonstra, sendo este o motivo do aumento do tempo de retorno no *payback* descontado que analisa o prazo de recuperação do capital investido com remuneração (Gráfico 3-6).

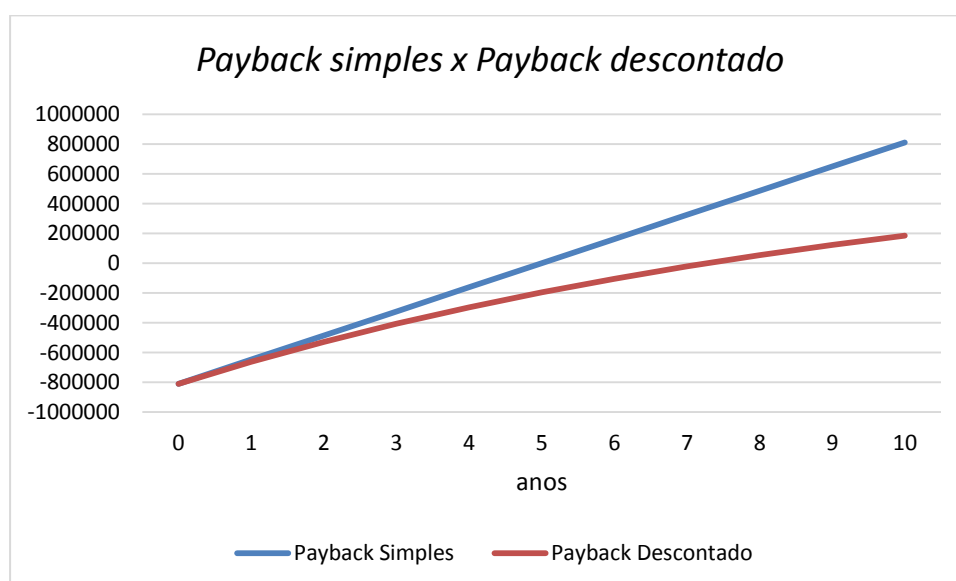


Gráfico 3-6: Payback simples versus payback descontado.
Fonte: autora.

O valor presente líquido (VPL) é o indicador que estabelece o lucro de certo investimento para valores atuais ao término da sua vida útil. Consiste em determinar o valor presente de custos que estão por vir com descontos a uma taxa de juros apropriada, menos o custo do investimento inicial (GODINHO, 2017).

Tabela 3-13: Valor Presente Líquido com e sem investimento.

Valor Presente Líquido (com investimento)	186.068
Valor Presente Líquido (sem investimento)	995.468

Fonte: autora.

A Taxa Interna de Retorno (TIR) é o indicador que informa a capacidade que o investimento possui na geração de lucros. Corresponde à taxa de desconto que equivale o valor do VPL a zero, pois o valor presente das entradas de caixa se iguala ao investimento inicial (CASAROTTO e KOPPITKE, 2000).

A TIR foi calculada pelo Excel com a função específica selecionando a célula e inserindo a fórmula TIR (IRR, em inglês) e selecionando as células do fluxo de caixa. O valor encontrado foi de 15,1% anual, valor maior que a taxa de desconto (Taxa Mínima de Atratividade), que significa que o investimento do projeto é economicamente atrativo.

De acordo com os cálculos e análises gráficas verifica-se que o tempo de retorno foi menor que a vida útil estabelecida para o projeto, com o valor total do VPL positivo e a TIR maior que a taxa mínima de atratividade. Assim, a implantação do projeto solar fotovoltaico no PISAC resulta em um investimento economicamente viável, relativamente alto, mas com proporção lucrativa em longo prazo, além de ser atrativo pelos benefícios apresentados.

3.5 Comparação do fornecimento de energia elétrica pra o PISAC pela distribuidora com o fornecimento pela geração solar distribuída no próprio parque.

A viabilidade econômica do projeto é verificada se o valor investido na implantação do sistema solar fotovoltaico se revelar inferior ao pagamento pela eletricidade fornecida pela distribuidora. Custo geral mensal de eletricidade do PISAC é de R\$ 9.233,66 (Tabela 3-14).

Tabela 3-14: Custo geral mensal de eletricidade do Parque de Inovação e Sustentabilidade do Ambiente Construído.

CUSTO MENSAL (R\$)	
Consumo Geral Mensal	15757,095 kWh
Custo	0,586 R\$/kWh
TOTAL	R\$ 9.233,66

Fonte: autora.

No Gráfico 3-7 é apresentada a geração de energia elétrica mensal considerando a potência total em kW dos 671 painéis solares fotovoltaicos. Foi considerado o valor de Horas de Sol Pleno (HSP) de cada mês, segundo o CRESESB, e o rendimento de 80%, em que foi encontrada a geração de eletricidade em kWh por mês.

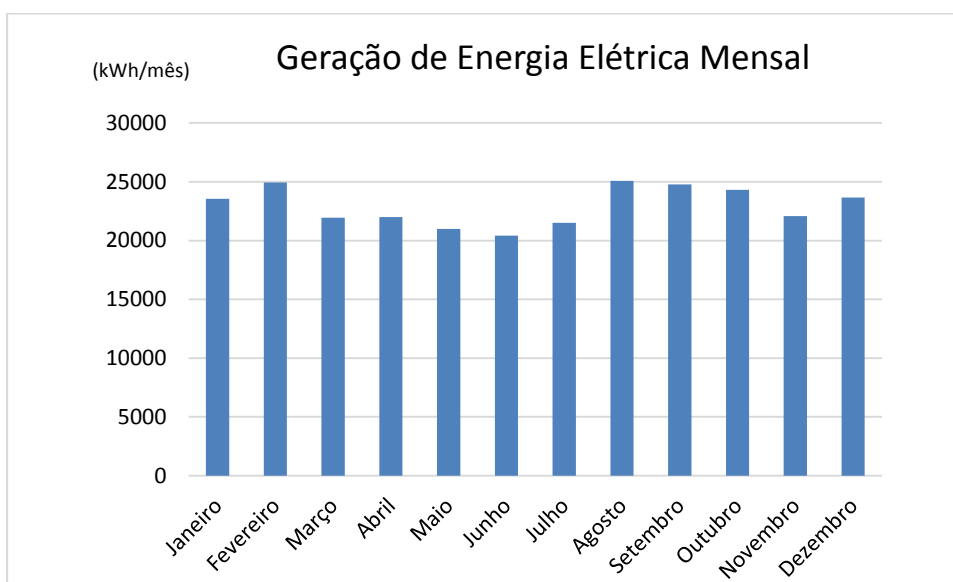


Gráfico 3-7: Geração de energia elétrica mensal.

Fonte: autora.

No Gráfico 3-8 é apresentado o resultado da comparação do preço (R\$) pago pela energia elétrica fornecida pela distribuidora com a energia elétrica gerada pelo sistema fotovoltaico. Verifica-se o excedente de geração de energia elétrica para o PISAC sendo ele a diferença entre a coluna vermelha e a azul em cada mês.

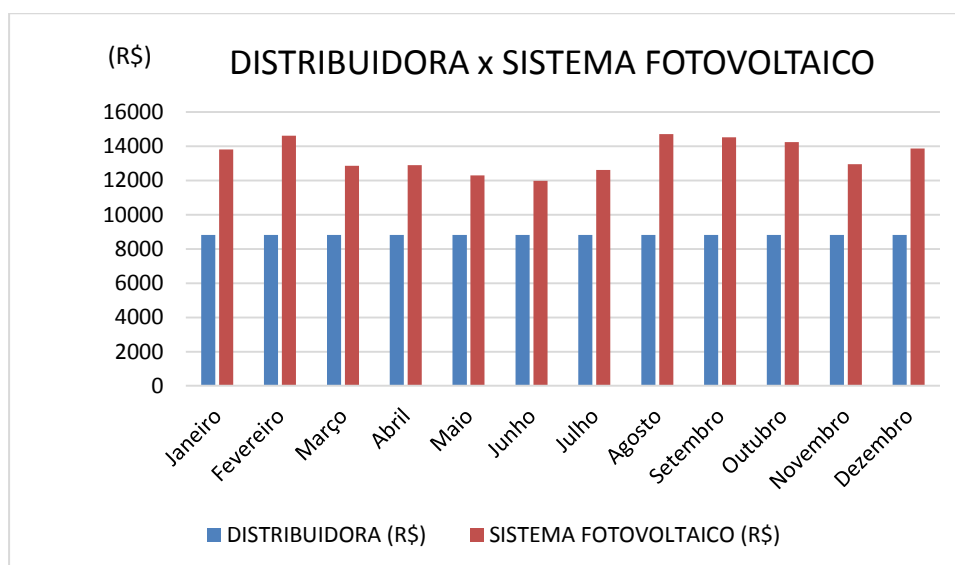


Gráfico 3-8: Distribuidora versus Sistema Fotovoltaico (R\$).
Fonte: autora.

De acordo com o total de 671 placas solares fotovoltaicas, de 270 Wp cada, a serem instaladas nos quatro edifícios é calculada a potência total em kWh, conforme a Equação 2-1 e a Equação 2-2. Para o consumo geral mensal de 15.657,095 kWh era necessário 123,6 kW de potência total com a instalação de 458 placas. Com 671 placas, 213 a mais, atinge-se o valor de 181,17 kW de potência total capaz de gerar 22.957,86 kWh por mês de energia elétrica. Assim, haverá geração excedente de 7300,76 kWh de energia elétrica (Tabela 3-15).

Tabela 3-15: Dados de consumo e geração de energia elétrica.

Número de placas necessárias	Número de placas utilizadas	Potência da placa (W)	Geração de energia elétrica (kWh/mês)	Geração excedente de energia elétrica (kWh)
458	671	270	22.957,86	7.300,76

Fonte: autora.

3.6 Desenvolvimento da ferramenta de apoio

Realizar o mapeamento das decisões dentro dos processos de um projeto viabiliza a redução de custos além de assegurar melhor desempenho no processo do projeto como um todo. Como ferramenta de auxílio à elaboração da árvore de decisões no cenário da energia solar fotovoltaica será utilizado o *Balanced Score Card*, uma metodologia de medição e gestão de desempenho desenvolvida por Robert Kaplan e David Norton (KAPLAN; NORTON, 1997).

O mapa estratégico na Figura 3-16 esboça a estratégia por meio dos objetivos compreendidos em quatro perspectivas: financeira, de clientes, de processos internos e de aprendizagem e crescimento.

A perspectiva financeira possui como objetivos estratégicos o retorno de investimento, redução do custo de energia elétrica mensal e as linhas de financiamento. A perspectiva dos clientes compreende os objetivos de durabilidades do sistema solar fotovoltaico, excelência operacional do sistema e satisfação com os fornecedores.

A perspectiva dos processos internos envolve a baixa manutenção, o desenvolvimento de estudos energéticos e o sistema de compensação de energia elétrica. A perspectiva de aprendizagem e crescimento envolvem a difusão da modalidade energética, com uma tecnologia de inovação e sustentabilidade e fonte de energia renovável.

Na construção do mapa estratégico são detalhadas as relações de causa e efeito entre as quatro perspectivas, sendo traçado para cada objetivo os indicadores, metas e planos de ação. (Apêndice C).

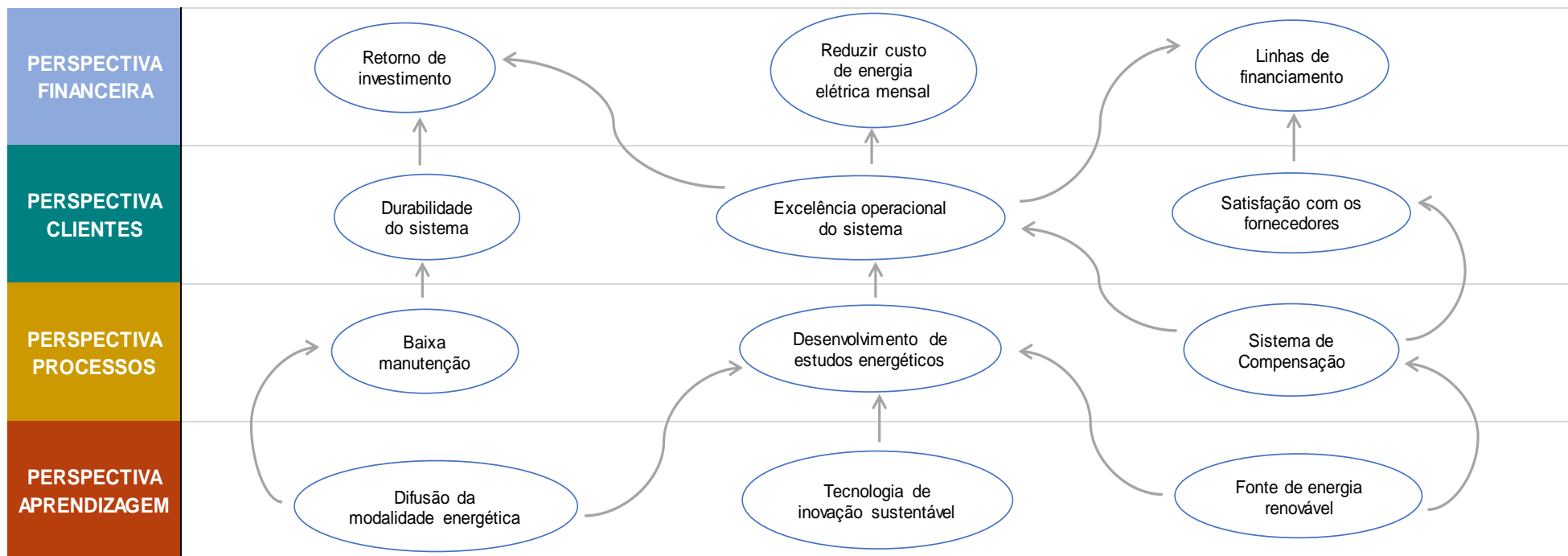


Figura 3-16: Mapa estratégico do sistema solar fotovoltaico conectado à rede.
Fonte: autora.

Para a definição da ferramenta foram mapeados os vários processos inerentes ao projeto de execução do sistema solar fotovoltaico conectado à rede. Trata-se de um modelo elaborado como instrumento de auxílio à tomada de decisão para os usuários que desejam elaborar projetos de energia solar fotovoltaica conectada à rede. (Figura 3-17).

O desenvolvimento da ferramenta foi realizado utilizando o PISAC como estudo de caso. As simulações numéricas são baseadas em informações que são variáveis, ainda que se alterem os materiais utilizados, os componentes e os sistemas construtivos em cenários diferentes a forma de aplicação na tomada de decisão não é alterada.

O desenvolvimento da ferramenta visa à aplicação geral em sistemas de geração solar distribuída. Alterações nas informações e dados pertinentes ao PISAC para a aplicação da ferramenta de apoio não inviabiliza a sua validação, tendo em vista a tomada de decisão em um aspecto amplo.

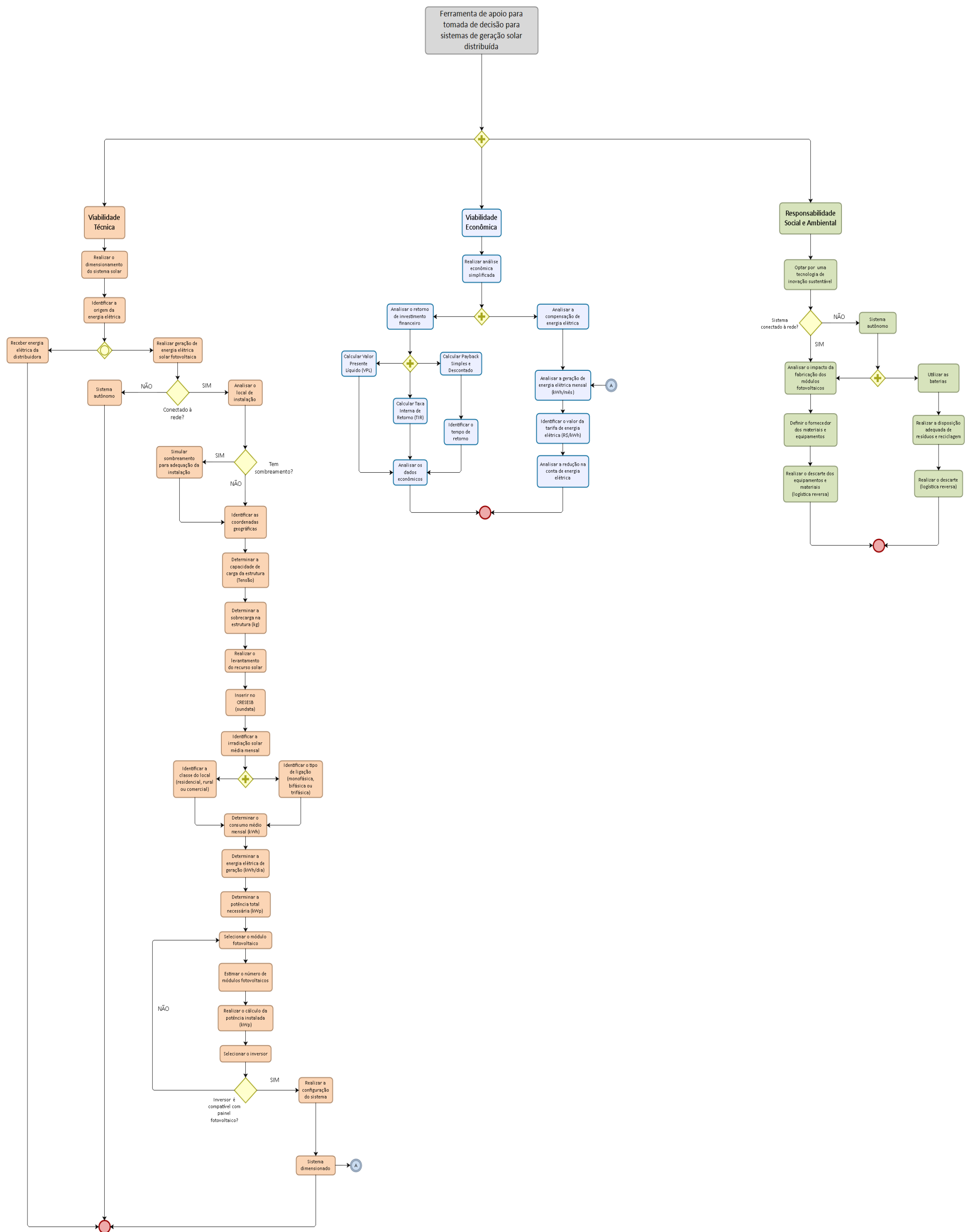


Figura 3-17: Ferramenta de apoio para tomada de decisão para sistemas de geração solar distribuída.
Fonte: autora.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo de estudo foi desenvolver uma ferramenta de apoio para tomada de decisão para sistemas de geração solar distribuída. A ferramenta proposta foi desenvolvida com base no referencial teórico e tendo como estudo de caso o projeto do PISAC.

Para o seu desenvolvimento foi dimensionado o sistema solar fotovoltaico conectado à rede conforme especificações do PISAC, além da análise econômica simplificada para avaliação do tempo de retorno de investimento e compensação de energia elétrica.

No estudo de caso foi verificada a parcela de geração de energia elétrica necessária para atender à demanda do PISAC, que foi estimada com base no objetivo da gestão de energia do projeto em reduzir a demanda de energia elétrica do Parque, uma das premissas de eficiência energética estabelecidas na concepção do projeto executivo.

Na análise dos critérios econômicos foi constatado que a inserção do sistema fotovoltaico no PISAC é um investimento economicamente viável, com um tempo de retorno de aproximadamente cinco anos.

A tarifa de energia elétrica praticada atualmente, referente a junho de 2018, é de R\$ 0,586 por kWh, sendo projetadas as análises econômicas de retorno de investimento e compensação do sistema com base nesse valor de tarifa tabelado para Brasília-DF.

Ao final foi possível obter uma visão ampliada da utilização da energia solar fotovoltaica para a produção de energia elétrica. O desenvolvimento da ferramenta permitiu reunir todas as decisões inseridas no processo de implantação de um sistema solar fotovoltaico conectado à rede, evidenciando cada passo estratégico pertinente às perspectivas financeiras, do cliente, de processos internos e de planos de ação. (Apêndice C).

A ferramenta visa à aplicação geral em sistemas de geração solar distribuída. Se modificações forem feitas nas informações e dados pertinentes ao empreendimento, a utilização da ferramenta não será inviabilizada, tendo em vista a tomada de decisão em um aspecto amplo.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, Yolanda. **Energia, Economia, Rotas Tecnológicas**. Universidad de Málaga. Espanha, 2010.

ANEEL, AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, **Registro de Micro e Mini Geradores Distribuídos**. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/scg/gd/gd.asp>>. Acesso em: 30 de setembro de 2017.

ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. **Micro e Minigeração Distribuída, Sistema de Compensação de Energia Elétrica**. Cadernos Temáticos ANEEL, 2ª Edição. Brasília, março de 2016. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/documents/656877/14913578/Caderno+tematico+Micro+e+Minigera%C3%A7%C3%A3o+Distribuida+-+2+edicao/716e8bb2-83b8-48e9-b4c8-a66d7f655161>>. Acesso em: 04 de novembro de 2017.

ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. **Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST, Módulo 3 – Acesso ao Sistema de Distribuição**. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/documents/656827/14866914/PRODIST-M%C3%B3dulo3_Revis%C3%A3o7/ebfa9546-09c2-4fe5-a5a2-ac8430cbca99>. Acesso em: 04 de novembro de 2017.

ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. **Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST. Módulo 1: Introdução**. 01 de janeiro de 2016. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/documents/656827/14866914/M%C3%B3dulo1_Revisao_9/1b78da82-6503-4965-abc1-a2266eb5f4d7>. Acesso em: 24 de novembro de 2017.

ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. **Regulação do Setor Elétrico**. Publicado em 01 de dezembro de 2015 e modificado em 22 de fevereiro de

2017. Brasília, DF. Disponível em: < <http://www.aneel.gov.br/regulacao-do-setor-eletrico>>. Acesso em: 03 de novembro de 2017.

ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução Normativa Nº 482, de 17 de abril de 2012.** Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>>. Acesso em: 30 de setembro de 2017.

ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução Normativa Nº 687, de 24 de novembro de 2015.** Disponível em: < <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>>. Acesso em: 02 de novembro de 2017.

ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução Normativa nº 414.** Setembro, 2010.

ANEEL, Aplicações, **atlas Energia Solar.** 2ª edição. Disponível em: <[http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-energia_solar\(3\).pdf](http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-energia_solar(3).pdf)>. Acesso em: 10 de setembro de 2017.

ANEEL, **Atlas de Energia Elétrica do Brasil.** 1ª Edição. Brasília, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6123: Forças devido ao vento em edificações.** Rio de Janeiro, p. 66. 1988.

BEN, Balanço Energético Nacional. **Relatório Síntese.** Rio de Janeiro, Junho de 2017, ano base 2016.

BERMANN, Célio; MOREIRA, Paula Franco. **O Setor Elétrico Brasileiro e a Sustentabilidade no Século 21: Oportunidades e Desafios**, 2ª edição, Ed. International Rivers Network – Brasil, Org. Paula Franco Moreira - Brasília: Brasil, 2012. Disponível em: <https://www.internationalrivers.org/sites/default/files/attached-files/setor_eletrico_desafios-oportunidades_2_edicao_nov2012.pdf>. Acesso em: 06 de novembro de 2017.

BIG, Banco de Informações de Geração. **Capacidade de Geração do Brasil**. Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL. Atualização em 24 e novembro de 2017. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>>. Acesso em: 24 de novembro de 2017.

BLUMENSCHNEIN, R.N. Relatório: **Parque de Inovação e Sustentabilidade do Ambiente Construído**. 2017, não publicado.

BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº 257, de 30.06.99: dispõe sobre o descarte e o gerenciamento ambientalmente adequado de pilhas e baterias usadas, no que tange à coleta, reutilização, reciclagem, tratamento, ou disposição final**. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 22 jun.1999.

CANADIANSOLAR. **CS6K-260|265|270|275P**. 545 Speedvale Avenue West, Guelph, Ontario N1K 1E6, Canada, www.canadiansolar.com, support@canadiansolar.com. Disponível em: <http://www.nanosun.cz/media/technicke-listy/Canadian_Solar-Datasheet-51en.pdf>. Acesso em: 25 de março de 2018.

CARRILLO-HERMOSILLA, J.GONZALEZ, P. D. R.; KONNOLA, T. **Eco-innovation: when sustainability and competitiveness shake hands**. New York: Palgrave Macmillan, 2009.

CASAROTTO; KOPITKE. **Análise de investimentos**. 10 ed. São Paulo; Atlas, 2008.

CEMIG - COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS. **Alternativas Energéticas: uma visão Cemig**. Belo Horizonte: CEMIG, 2012.

CEPEL – CENTRO DE PESQUISAS DE ENERGIA ELÉTRICA; CRESESB – CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO

BRITO. Disponível em: < <http://www.cresesb.cepel.br/index.php#data>> .
Acesso em: 30 de setembro de 2017.

CEPEL-CRESESB. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos. Grupo de Trabalho de Energia Solar – GTES, Edição especial, PRC-PRODEEM**, Rio de Janeiro, Agosto de 2004.

CLEMENTE, Ademir; SOUZA, Alceu. **Decisões Financeiras e Análise de Investimentos - Fundamentos, Técnicas e Aplicações**. Editora Atlas. 6ª Ed. 2008.

CONAMA, Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Relatório Final: Grupo De Trabalho Impactos das Mudanças Climáticas no Brasil e o Papel do Conama na Adoção de Medidas de Adaptação**. 12ª Câmara Técnica de Economia e Meio Ambiente, Ministério do Meio Ambiente, 10 de abril de 2008.
Disponível em: <
http://www.mma.gov.br/port/conama/processos/B92F43DF/RelatorioGTClima_100408_limpa2.pdf>. Acesso em: 06 de novembro de 2017.

CRESESB. Energia Solar – princípios e Aplicação. **Centro de Referência para energia solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito**, 2006.

DASSI, Jonatan Antonio; ZANIN, Antonio; BAGATINI, Fabiano Marcos; TIBOLA, Ademar; BARICHELO, Rodrigo; MOURA, Geovanne Dias de. **Análise da Viabilidade Econômico-Financeira da Energia Solar Fotovoltaica em uma Instituição de Ensino Superior do Sul do Brasil**. XXII Congresso Brasileiro de Custos – Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 11 a 13 de novembro de 2015.

Decreto Nº 37717 de 19/10/2016. **Cria o programa de estímulo ao uso de Energia Solar Fotovoltaica no Distrito Federal - Programa Brasília Solar, e dá outras providências**. Disponível em <<https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=330058>>. Acesso em: 10 de fevereiro de 2018.

EBC – Agência Brasil, Economia: **Crescimento da energia solar fotovoltaica**. Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: <<http://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2017-07/energia-solar-fotovoltaica-pode-crescer-mais-de-300-ate-o-fim-do-ano-diz>> Acesso em: 21 de setembro de 2017.

ELETROBRÁS. **Na trilha da energia, energia elétrica**. 2001. Disponível em: <<http://www.eletrobras.com/elb/natrilhadaenergia/energia-eletrica/>> Acesso em: 21 de setembro de 2017.

ELY, FERNANDO; SWART, JACOBUS W. IEEE - INSTITUTO DE ENGENHEIROS ELETRICISTAS E ELETRÔNICOS, Energia Solar Fotovoltaica de Terceira Geração. Outubro, 2014. Disponível em: <<http://www.ieee.org.br/wp-content/uploads/2014/05/energia-solar-fotovoltaica-terceira-geracao.pdf>>. Acesso em: 10 de fevereiro de 2018.

EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, MME – MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Nota Técnica EPE – **Análise da Inserção da Geração Solar na Matriz Elétrica Brasileira**. Rio de Janeiro, RJ, Maio. 2012. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/geracao/documents/estudos_23/nt_energiasolar_2012.pdf>. Acesso em: 30 de setembro de 2017.

EPE, Empresa de Pesquisa Energética. **Leilão de Energia de Reserva de 2014. Participação dos Empreendimentos. Solares Fotovoltaicos: Visão Geral**. Ministério de Minas e Energia. Brasília, DF. 2014. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/leiloes/Documents/NT_EPE-DEE-NT-150_2014-r1_UFV_LER_2014.pdf>. Acesso em: 03 de novembro de 2017.

EPE, Empresa de Pesquisa Energética; MME, Ministério de Minas e Energia. **Balanco Energético Nacional – BEN. 2017** ano base 2016.

FCPC - Fundação Cearense de Pesquisa e Cultura. **Adaptação às mudanças do Clima: Cenário e Alternativas – Recursos Hídricos**. Fortaleza, 2015.

FERRATO, Rafael Silva (2016). **Estudo Dos Impactos de Mini e Microgeração Fotovoltaica na Operação de Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica**. Dissertação de graduação em Engenharia de Energia, Universidade de Brasília, Campus Gama, DF, 103p.

FINNERTY, John D; TRIESCHMANN, Carlos Henrique (Tradução de). Project Finance: **Engenharia Financeira Baseada em Ativos**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1999.

GODINHO, Silvio Martins et al. **Análise de viabilidade econômica voltado para a redução de consumo de energia elétrica em uma linha de produção de uma indústria de cerveja**. Revista Espacios, v. 38, n. 36, 2017.

GREENPEACE, Conselho Europeu de Energia Renovável – EREC, **Revolução energética: A caminho do desenvolvimento limpo**. Dezembro, 2010.

IEA PVPS, International Energy Agency: **Photovoltaic Power Systems Programme**. Annual Report, 2014.

INATOMI, Thais Aya Hassan; UDAETA, Miguel Edgar Morales. **Análise dos Impactos Ambientais na Produção de Energia dentro do Planejamento Integrado de Recursos**. Departamento de Engenharia de Construção Civil e Urbana – Escola Politécnica – Universidade de São Paulo. 2012.

INMETRO, Instituto Nacional de Metrologia, **Qualidade e Tecnologia. Requisitos de Avaliação da Conformidade – RAC**. 2011. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/qualidade/cerflor_rac.asp>. Acesso em: 04 de novembro de 2017.

INPE, Atlas Brasileiro de Energia Solar, 2ª Edição. 88p.: il. São José dos Campos, São Paulo. Julho de 2017. Disponível em: <http://ftp.cptec.inpe.br/labren/publ/livros/Atlas_Brasileiro_Energia_Solar_2a_Edicao.pdf>. Acesso em: 10 de fevereiro de 2018.

IRENA, Agência Internacional de Energia Renovável. **Energia Renovável e Emprego**. Revisão anual, 2017. Disponível em: <<https://www.ambienteenergia.com.br/wp-content/uploads/2017/05/Energia-Renov%C3%A1vel-e-Emprego-Revis%C3%A3o-Anual-2017-Ambiente-Energia.pdf>>. Acesso em: 02 de novembro de 2017.

JÚNIOR IKUTA, Emerson Shinji; GOYA, Fernando Takeo. **Estudo da Viabilidade Técnico-Econômica de Sistemas Fotovoltaicos interligados à rede elétrica em diferentes cenários de geração**. Universidade Tecnológica do Paraná, Departamento acadêmico de eletroeletrônica. Monografia, Engenharia Elétrica. Curitiba, 2012.

JUNIOR SOCCOL, Francisco; PEREIRA, Adan Lucio; Cardoso Celeste, Wanderley; Custódio Coura, Daniel J; de Lorena Diniz, Gisele. **Desafios para Implementação da Geração Distribuída de Energia no Brasil: Uma Revisão Integrativa da Literatura**. Brazilian Journal of Production Engineering São Mateus. Vol.2, nº3. Editora CEUNES/DETEC. 2016.

KAPLAN, Robert S; NORTON, David P. **A estratégia em ação: Balanced Scorecard**. Rio de Janeiro: Editora Campus, 1997.

LEMES JUNIOR, Antônio Barbosa; RIGO, Cláudio Miessa; CHEROBIM, Ana Paula Mussi Szabo. **Administração Financeira: Princípios, Fundamentos e Práticas Brasileiras**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010.

MARQUEZAN, L. H. F.; BRONDANI, G. **Análise de Investimentos**. Revista Eletrônica de Contabilidade, Curso de Ciências Contábeis, UFSM, v.3, n.1 janjun/2006.

MATHIAS, Washington Franco; WOILER, Samsão. **Projetos**. São Paulo: Atlas, 1996.

MATHYAS, Alessandra; SHAYANI, Rafael, **Potencial da Energia Solar Fotovoltaica de Brasília**. Brasília, novembro de 2016. Estudo WWF Brasil.

Supernova Design, 1ª edição. Disponível em: <
https://d3nehc6yl9qzo4.cloudfront.net/downloads/wwf_potencial_solar_para_internet.pdf>. Acesso em: 10 de fevereiro de 2018.

MMA, Ministério do Meio Ambiente; Ministério da Educação; Instituto Brasileiro de Defesa do Consumidor. **Consumo Sustentável: Manual de Educação**. Consumers International/ MMA/ MEC/ IDEC, 160 p. Brasília, 2005. Disponível em: <
http://www.mma.gov.br/estruturas/educamb/_arquivos/consumo_sustentavel.pdf>. Acesso em: 06 de novembro de 2017.

MME, Ministério de Minas e Energia. **Resenha Energética**. Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Energético. Resultados de 2016. Junho de 2017.

NASCIMENTO, Rodrigo. **Energia Solar No Brasil: Situação E Perspectivas. Consultoria Legislativa, Recursos Minerais, Hídricos e Energéticos**. Março, 2017.

NOBRE, Carlos A.; SALAZAR, Luis F.; OYAMA, Marcos; CARDOSO, Manoel; SAMPAIO Gilvan; LAPOLA, David. **Relatório Nº 6: Mudanças Climáticas e possíveis alterações nos Biomas da América do Sul**. Ministério do Meio Ambiente – MMA, Secretaria de Biodiversidade e Florestas – SBF, Diretoria de Conservação da Biodiversidade – DCBio. São Paulo, Brasil, 2007. Disponível em: <
http://mudancasclimaticas.cptec.inpe.br/~rmclima/pdfs/prod_probio/Relatorio_6.pdf>. Acesso em: 06 de novembro de 2017.

ONS, Operador Nacional do Sistema Elétrico. Informativo ONS – ONS Apresenta **Relatório Final Sobre Blecaute de 2009**. Ano I – n.o 06 – novembro/2009.

ONS, Operador Nacional do Sistema Elétrico. **O Sistema Interligado Nacional – SIN**. Disponível em:

<http://www.ons.org.br/conheca_sistema/o_que_e_sin.aspx>. Acesso em: 30 de setembro de 2017.

ONS, Operador Nacional do Sistema Elétrico. PEN, **Plano de Operação Energética 2017/2021, Sumário Executivo**. Rio de Janeiro, 2017.

ONU, Organização das Nações Unidas. **Conference of the Parties, COP21**. Paris, novembro de 2015. Disponível em: <<http://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/eng/l09r01.pdf>>. Acesso em: 06 de novembro de 2017.

ONUBR, Nações Unidas do Brasil. **Desenvolvimento Sustentável: COP 22. 2016**. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/?post_type=post&s=COP22>. Acesso em: 06 de novembro de 2017.

PEREIRA, Enio Bueno; MARTINS, Fernando Ramos; ABREU, Samuel Luna de; RÜTHER, Ricardo. **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. São José dos Campos: INPE, 2006. il. 60p.

PINHO, João; GALDINO, Marco. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. Edição revisada e atualizada. CRESESB, CEPEL. Rio de Janeiro, RJ, 2014.

PNUMA, Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente. **GEO5, Panorama Ambiental Global: Resumo para Formuladores de Políticas**, 1-20. 2012.

Presidência da República, Secretaria de Assuntos Estratégicos. **Brasil 2040 Resumo Executivo**. Brasília, 2015.

REN21, RENEWABLE ENERGY POLICY NETWORK FOR THE 21ST CENTURY, Renewables 2016 **Global Status Report**. ISBN 978-3-9818107-0-7. Paris, France, 2016.

REN21. 2015. Renewables 2015 **Global Status Report** (Paris: REN21 Secretariat).

ROSA, Antonio Robson Oliveira; GASPARIN, Fabiano Perin. **Panorama da Energia Solar Fotovoltaica no Brasil**. Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, dissertação em Ambiente e Sustentabilidade. Revista Brasileira de Energia Solar, 2016.

RÜTTER, Ricardo. **Edifícios Solares Fotovoltaicos: O Potencial da Geração Solar Fotovoltaica Integrada a Edificações Urbanas e Interligada à Rede Elétrica Pública no Brasil**. Florianópolis: Editora UFSC/LABSOLAR, 2004. 114 p.: il.

SAUAIA, Rodrigo Lopes. **Proposta para a Energia Solar Fotovoltaica no GDF. ABSOLAR**. Novembro, 2015.

SEMA - Secretaria do Meio Ambiente, GT Brasília Solar. **Programa Brasília Solar, Consulta Pública. Brasília, 15 de janeiro de 2016**. Disponível em: <<http://www.sema.df.gov.br/wp-conteudo/uploads/2017/09/Minuta-Bras%C3%ADlia-Solar-2016.pdf>>. Acesso em: 10 de fevereiro de 2018.

SHAYANI, R. A. (2010). **Método para Determinação do Limite de Penetração da Geração Distribuída Fotovoltaica em Redes Radiais de Distribuição**. Tese de Doutorado em Energia Elétrica, Publicação PPGNE.TD-051/10, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 161p.

SILVA, E.P da, Apolinário, F.R., Marin Neto, A.J., **Estudo da viabilidade técnica de sistemas solar-fotovoltaico-hidrogênio**, Anais do IX Congresso Brasileiro de Energia, pg.1940-1945, Rio de Janeiro/RJ, 2002.

SONDA, Sistema de Organização Nacional de Dados Ambientais. **Estação de Brasília, INPE**. Última atualização em 05 de setembro de 2017. Disponível em:

<<http://sonda.ccst.inpe.br/basedados/brasil.html>>. Acesso em: 10 de maio de 2018.

SOUZA, Acilon Batista. **Projetos de Investimentos de Capital: Elaboração, Análise e Tomada de Decisão**. São Paulo: Atlas 2003.

TOLMASQUIM, Maurício T. et al. **Alternativas Energéticas Sustentáveis no Brasil**. Editora Relume Dumará. Rio de Janeiro, 2004.

TOLMASQUIM, Maurício T. et al. **Perspectivas e planejamento do setor energético no Brasil**. Estudos avançados 26 (74), 2012.

TOLMASQUIM, Mauricio Tiomno. Empresa de Pesquisa Energética. **O Compromisso do Brasil no Combate às Mudanças Climáticas: Produção e Uso de Energia**. Junho de 2016. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/mercado/Documents/NT%20COP21%20INDC.pdf>>. Acesso em: 04 de novembro de 2017.

TOLMASQUIM, Mauricio Tiomno. **Energia Renovável: Hidráulica, Biomassa, Eólica, Solar, Oceânica**. Empresa de Pesquisa Energética. Rio de Janeiro, 2016.

UNEP – WCMC. **The contribution of Brazilian conservation units to the national economy: executive summary** /Medeiros, R.; Young, C. E. F.; Pavese, H. B.; Araújo, F. F. S. (Ed.). Brasília, 2011.

UNEP, United Nations Environment Programme. **Relatório do Secretário-Geral, Progresso para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável**. Disponível em: <http://www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=E/2017/66&Lang=E>. Acesso em: 03 de novembro de 2017.

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA. **Sistema de Informações Acadêmicas**. Campus Universitário Darcy Ribeiro, Brasília-DF, 2017.

VILLALVA, M.; GAZOLI, J. **Energia solar fotovoltaica: conceitos e aplicações**. São Paulo: Erica, 2012.

WEF, Renewable Infrastructure Investment **Handbook: A Guide for Institutional Investors**. Dezembro, 2016. Disponível em: <
http://www3.weforum.org/docs/WEF_Renewable_Infrastructure_Investment_Handbook.pdf>. Acesso em: 30 de setembro de 2017.

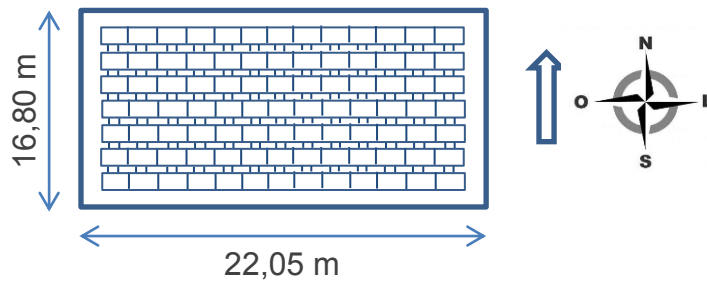
APÊNDICE

APÊNDICE A: Memorial de cálculo para definição do total de placas nos quatro edifícios.

Número de placas fotovoltaicas que cada edifício comporta.

Edifícios	Área Total de cobertura (m²)	Espaçamento (m)	Área Utilizada (m²)	Número de strings	Número de strings utilizados	Número de painéis	Número de painéis utilizados	Placas totais
Recepção	370,440	0,512	214,843	11	7	13	13	91
Auditório	733,320	0,512	475,200	10	8	29	25	200
Escritórios	601,750	0,512	478,691	11	10	22	20	200
Áreas molhadas	612,360	0,512	429,792	10	9	24	20	180
								671

Edifício 1: Recepção



$$A_{total} = 22,05 \cdot 16,8$$

$$A_{total} = 370,44 \text{ m}^2$$

Onde:

- Comprimento: 16,8 m
- Espaçamento:

$$h_{ob} = \sin 15^\circ \cdot 0,992 = 0,256 \text{ m}$$

$$d = Fe (h_{ob} - h_i) = 2 \cdot (0,256 - 0)$$

$$d = 0,512 \text{ m}$$

- Largura da placa: 0,992 m

Para encontrar o número máximo de fileiras divide-se o comprimento da cobertura pela soma da largura da placa com o espaçamento em relação ao sombreamento.

$$\frac{16,8}{(0,992 + 0,512)} = \mathbf{11 \text{ strings}}$$

Foram escolhidos 7 *strings* (fileiras) levando em consideração o espaço para instalação das placas e posteriormente sua manutenção.

Para a determinação do número de placas por *string* divide-se o comprimento da cobertura na direção “x” pelo comprimento da placa na mesma direção.

$$\frac{22,05}{1,65} = \mathbf{13,4 \text{ placas}}$$

Foram consideradas 13 placas por *string* pelo mesmo motivo de otimização de espaço.

Na direção “x” o espaçamento total das bordas é de 0,3 m para cada lado para dez placas.

$$\frac{22,05 - (13 \cdot 1,65)}{2} = \mathbf{0,3 \text{ m}}$$

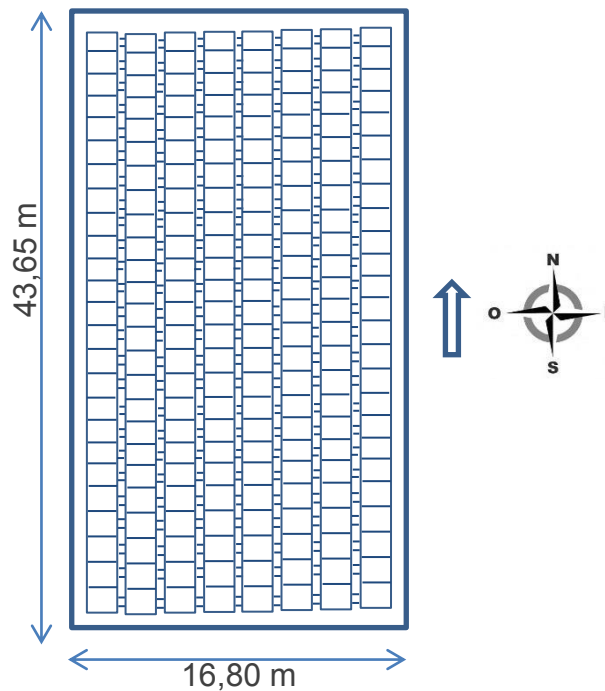
Na direção “y” o espaçamento total das bordas é de 3,4 m para cada lado para dez placas.

$$\frac{16,80 - ((6 \cdot 0,512) + (7 \cdot 0,992))}{2} = \mathbf{3,4 \text{ m}}$$

Dessa forma, no Edifício 1 é possível instalar 91 placas de acordo com o dimensionamento especificado.

Assim como foram realizados os cálculos para o Edifício 1, os outros três edifícios seguiram o mesmo raciocínio, com os resultados mostrados abaixo.

Edifício 2: Auditório



$$A_{total} = 16,80 \cdot 43,65$$

$$A_{total} = 733,32 \text{ m}^2$$

Onde:

- Comprimento: 43,65 m
- Espaçamento: 0,512 m
- Largura da placa: 0,992 m

$$\frac{43,65}{(0,992 + 0,512)} = 29,02 \rightarrow 25 \text{ placas}$$

$$\frac{16,80}{1,65} = 10,18 \rightarrow 8 \text{ strings}$$

Espaço na direção “x”:

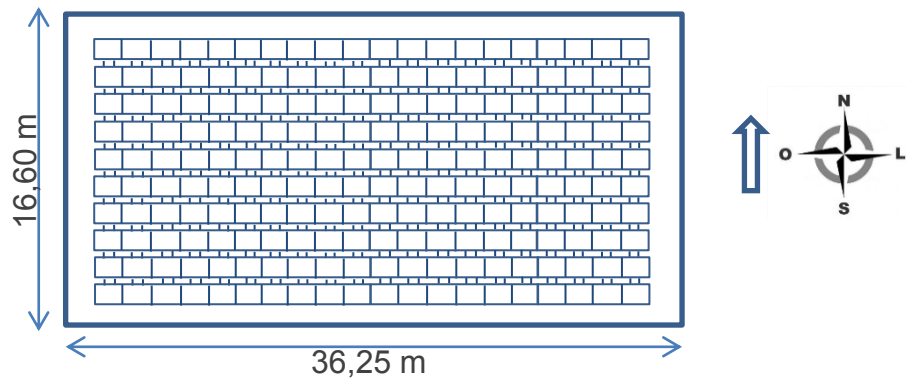
$$\frac{16,80 - (8 \cdot 1,65)}{2} = 1,8 \text{ m}$$

Espaço na direção “y”:

$$\frac{43,65 - ((24 \cdot 0,512) + (25 \cdot 0,992))}{2} = 3,3 \text{ m}$$

Dessa forma, no Edifício 2 é possível instalar 200 placas de acordo com o dimensionamento especificado.

Edifício 3: Escritórios



$$A_{total} = 16,80 \cdot 36,25$$

$$A_{total} = \mathbf{601,75 \, m^2}$$

Onde:

- Comprimento: 16,60 m
- Espaçamento: 0,512 m
- Largura da placa: 0,992 m

$$\frac{16,60}{(0,992 + 0,512)} = \mathbf{11,04 \rightarrow 10 \, strings}$$

$$\frac{36,25}{1,65} = \mathbf{21,83 \rightarrow 20 \, placas}$$

Espaço na direção “x”:

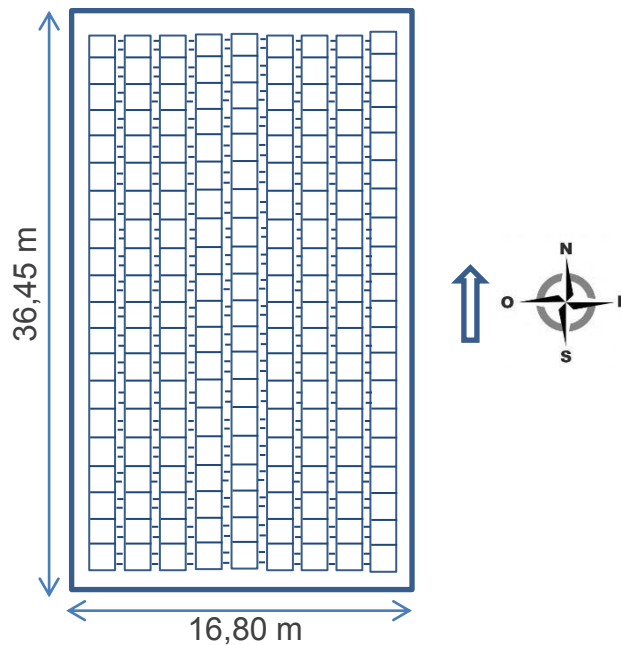
$$\frac{36,25 - (20 \cdot 1,65)}{2} = \mathbf{1,6 \, m}$$

Espaço na direção “y”:

$$\frac{16,60 - ((9 \cdot 0,512) + (10 \cdot 0,992))}{2} = \mathbf{1,04 \, m}$$

Dessa forma, no Edifício 3 é possível instalar 200 placas de acordo com o dimensionamento especificado.

Edifício 4: Áreas Molhadas



$$A_{total} = 36,45 \cdot 16,80$$

$$A_{total} = \mathbf{612,36 \, m^2}$$

Onde:

- Comprimento: 36,45 m
- Espaçamento: 0,512 m
- Largura da placa: 0,992 m

$$\frac{36,45}{(0,992 + 0,512)} = \mathbf{24,23 \rightarrow 20 \, placas}$$

$$\frac{16,80}{1,65} = \mathbf{10,18 \rightarrow 9 \, strings}$$

Espaço na direção “x”:

$$\frac{16,80 - (9 \cdot 1,65)}{2} = \mathbf{1,76 \, m}$$

Espaço na direção “y”:

$$\frac{36,45 - ((19 \cdot 0,512) + (20 \cdot 0,992))}{2} = \mathbf{3,4 \, m}$$

Dessa forma, no Edifício 4 é possível instalar 180 placas de acordo com o dimensionamento especificado.

APÊNDICE B: Análise de investimento do projeto.

Taxa de Desconto		10,0%										
		Ano 0	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5	Ano 6	Ano 7	Ano 8	Ano 9	Ano 10
Fluxo de Caixa Período (t)		-809400,12	162007,85	162007,8	162007,85	162007,85	162007,85	162007,85	162007,85	162007,85	162007,85	162007,85
		-	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\frac{FC}{(1+i)^t}$		$\frac{-809.400}{(1 + 0,1)^0}$	$\frac{162.008}{(1 + 0,1)^1}$	$\frac{162.008}{(1 + 0,1)^2}$	$\frac{162.008}{(1 + 0,1)^3}$	$\frac{162.008}{(1 + 0,1)^4}$	$\frac{162.008}{(1 + 0,1)^5}$	$\frac{162.008}{(1 + 0,1)^6}$	$\frac{162.008}{(1 + 0,1)^7}$	$\frac{162.008}{(1 + 0,1)^8}$	$\frac{162.008}{(1 + 0,1)^9}$	$\frac{162.008}{(1 + 0,1)^{10}}$
$\frac{FC}{(1+i)^t}$		$\frac{-809.400}{1,00}$	$\frac{162.008}{1,10}$	$\frac{162.008}{1,21}$	$\frac{162.008}{1,33}$	$\frac{162.008}{1,46}$	$\frac{162.008}{1,61}$	$\frac{162.008}{1,77}$	$\frac{162.008}{1,95}$	$\frac{162.008}{2,14}$	$\frac{162.008}{2,36}$	$\frac{162.008}{2,59}$
VPL (com investimento)		186.068	-809.400	147.280	133.891	121.719	110.654	100.594	91.449	83.136	75.578	68.707
VPL (sem investimento)		995.468										
TIR (ano)		15,1%										
Payback Nominal	4 anos	(809.400)	(647.392)	(485.384)	(323.377)	(161.369)	639	162.647	324.655	486.663	648.671	810.678
	11 meses						5,00					
	29 dias											
Payback Descontado	7 anos	(809.400)	(662.120)	(528.229)	(406.511)	(295.857)	(195.263)	(103.814)	(20.678)	54.900	123.607	186.068
	3 meses									7,27		
	8 dias											

APÊNDICE C: Perspectivas do mapa estratégico (*Balanced ScoreCard*)

PERSPECTIVA FINANCEIRA			
OBJETIVO	INDICADORES	META	AÇÕES
Retorno de investimento	<i>Payback</i>	Retorno de investimento antes da vida útil do sistema	Elaborar a análise econômica do projeto
Reduzir custo de energia elétrica mensal	Geração de energia elétrica pelo sistema (kWh)	Geração de energia elétrica correspondente ao consumo (kWh)	Instalar o sistema solar fotovoltaico e realizar o monitoramento
Linhas de financiamento	Linhas de crédito	Pagar pelo sistema solar fotovoltaico com o melhor retorno financeiro	Investir no presente para obter retornos futuros de longo prazo

PERSPECTIVA CLIENTES			
OBJETIVO	INDICADORES	META	AÇÕES
Durabilidade do sistema fotovoltaico	Vida útil dos equipamentos	Inversores: ± 10 anos Placas Solares: ± 25 anos	Realizar compra responsável; Manutenção preventiva
Excelência operacional do sistema	Rendimento estipulado	O máximo estipulado em projeto	Monitorar o funcionamento do sistema solar fotovoltaico; Realizar a limpeza e manutenção dos equipamentos
Satisfação com os fornecedores	Produtos e serviços de qualidade	Êxito na aquisição	Realizar a seleção e a avaliação de fornecedores

PERSPECTIVA PROCESSOS INTERNOS			
OBJETIVO	INDICADORES	META	AÇÕES
Baixa manutenção	Longos períodos de funcionamento sem necessidade de manutenção	Inversores: ± 10 anos Placas Solares: ± 25 anos	Executar a manutenção dos equipamentos
Desenvolvimento de estudos energéticos	Desempenho do sistema solar fotovoltaico	A critério	Realizar estudos de eficiência energética
Sistema de Compensação	Créditos de energia	Geração de energia elétrica correspondente ao consumo (kWh)	Instalar o sistema solar fotovoltaico conectado à rede

PERSPECTIVA DE APRENDIZAGEM E CRESCIMENTO			
OBJETIVO	INDICADORES	META	AÇÕES
Difusão da modalidade energética	Práticas sustentáveis	Menor necessidade de utilizar fontes poluentes	Inserir a energia solar fotovoltaica no empreendimento ou residência
Tecnologia de inovação sustentável	Baixo impacto ambiental	Atenuação dos impactos ambientais	Utilizar a tecnologia solar fotovoltaica
Fonte de energia renovável	Fonte de energia solar	Redução da utilização de fontes de energias finitas	Evitar a emissão de gases do efeito estufa gerados por fontes tradicionais

ANEXOS

ANEXO A: Painel solar fotovoltaico Canadian Solar CS6K-260|265|270|275P











CS6K-260 | 265 | 270 | 275 P

Canadian Solar's modules use the latest innovative cell technology, increasing module power output and system reliability, ensured by 15 years of experience in module manufacturing, well-engineered module design, stringent BOM quality testing, an automated manufacturing process and 100% EL testing.

*Black frame product can be provided upon request.

KEY FEATURES

-  Excellent module efficiency of up to 16.80 %
-  Cell efficiency of up to 18.8 %
-  No. 1 PTC High PTC rating of up to 91.89 %
-  Outstanding low irradiance performance: 96.5 %
-  IP67 junction box for long-term weather endurance
-  Heavy snow load up to 5400 Pa, wind load up to 2400 Pa

25
years

linear power output warranty

10
years

product warranty on materials and workmanship

MANAGEMENT SYSTEM CERTIFICATES*

ISO 9001:2008 / Quality management system
ISO/TS 16949:2009 / The automotive industry quality management system
ISO 14001:2004 / Standards for environmental management system
OHSAS 18001:2007 / International standards for occupational health & safety

PRODUCT CERTIFICATES*

IEC 61215 / IEC 61730: VDE / TÜV-Rheinland / CE / MCS
UL 1703 / IEC 61215 performance: CEC listed (US)
UL 1703: CSA / IEC 61701 ED2: VDE / IEC 62716: VDE / Take-e-way



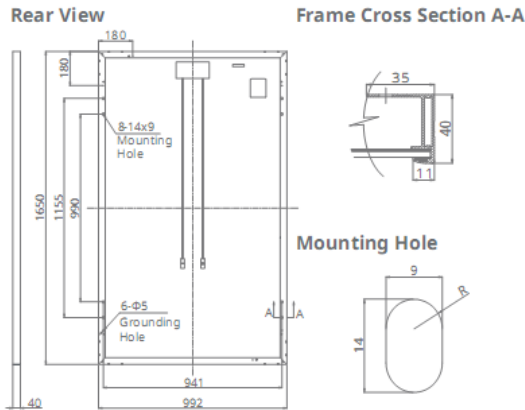
*As there are different certification requirements in different markets, please contact your local Canadian Solar sales representative for the specific certificates applicable to the products in the region in which the products are to be used.

CANADIAN SOLAR INC. is committed to providing high quality solar products, solar system solutions and services to customers around the world. As a leading PV project developer and manufacturer of solar modules with over 15 GW deployed around the world since 2001, Canadian Solar Inc. (NASDAQ: CSIQ) is one of the most bankable solar companies worldwide.

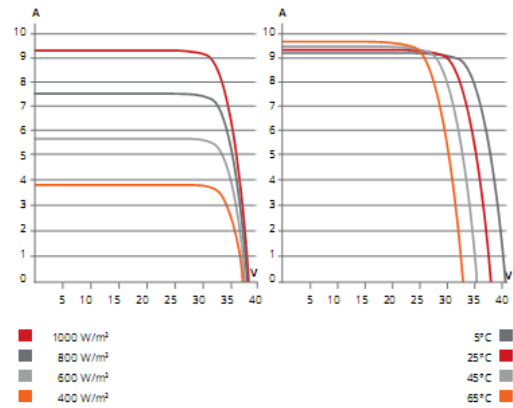
CANADIAN SOLAR INC.

545 Speedvale Avenue West, Guelph, Ontario N1K 1E6, Canada, www.canadiansolar.com, support@canadiansolar.com

ENGINEERING DRAWING (mm)



CS6K-270P / I-V CURVES



ELECTRICAL DATA | STC*

CS6K	260P	265P	270P	275P
Nominal Max. Power (Pmax)	260 W	265 W	270 W	275 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	30.4 V	30.6 V	30.8 V	31.0 V
Opt. Operating Current (Imp)	8.56 A	8.66 A	8.75 A	8.88 A
Open Circuit Voltage (Voc)	37.5 V	37.7 V	37.9 V	38.0 V
Short Circuit Current (Isc)	9.12 A	9.23 A	9.32 A	9.45 A
Module Efficiency	15.88%	16.19%	16.50%	16.80%
Operating Temperature	-40°C ~ +85°C			
Max. System Voltage	1000 V (IEC) or 1000 V (UL)			
Module Fire Performance	TYPE 1 (UL 1703) or CLASS C (IEC 61730)			
Max. Series Fuse Rating	15 A			
Application Classification	Class A			
Power Tolerance	0 ~ + 5 W			

* Under Standard Test Conditions (STC) of irradiance of 1000 W/m², spectrum AM 1.5 and cell temperature of 25°C.

MECHANICAL DATA

Specification	Data
Cell Type	Poly-crystalline, 6 inch
Cell Arrangement	60 (6×10)
Dimensions	1650×992×40 mm (65.0×39.1×1.57 in)
Weight	18.2 kg (40.1 lbs)
Front Cover	3.2 mm tempered glass
Frame Material	Anodized aluminium alloy
J-Box	IP67, 3 diodes
Cable	4 mm² (IEC) or 4 mm² & 12 AWG 1000 V (UL), 1000 mm (39.4 in)
Connector	T4-1000V or PV2 series
Per Pallet	26 pieces, 520 kg (1146.4 lbs)
Per container (40' HQ)	728 pieces

ELECTRICAL DATA | NOCT*

CS6K	260P	265P	270P	275P
Nominal Max. Power (Pmax)	189 W	192 W	196 W	199 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	27.7 V	27.9 V	28.1 V	28.3 V
Opt. Operating Current (Imp)	6.80 A	6.88 A	6.97 A	7.05 A
Open Circuit Voltage (Voc)	34.5 V	34.7 V	34.8 V	34.9 V
Short Circuit Current (Isc)	7.39 A	7.48 A	7.55 A	7.66 A

* Under Nominal Operating Cell Temperature (NOCT), irradiance of 800 W/m², spectrum AM 1.5, ambient temperature 20°C, wind speed 1 m/s.

TEMPERATURE CHARACTERISTICS

Specification	Data
Temperature Coefficient (Pmax)	-0.41 % / °C
Temperature Coefficient (Voc)	-0.31 % / °C
Temperature Coefficient (Isc)	0.053 % / °C
Nominal Operating Cell Temperature	45±2 °C

PERFORMANCE AT LOW IRRADIANCE

Outstanding performance at low irradiance, average relative efficiency of 96.5 % from an irradiance of 1000 W/m² to 200 W/m² (AM 1.5, 25°C).

The specification and key features described in this datasheet may deviate slightly and are not guaranteed. Due to on-going innovation, research and product enhancement, Canadian Solar Inc. reserves the right to make any adjustment to the information described herein at any time without notice. Please always obtain the most recent version of the datasheet which shall be duly incorporated into the binding contract made by the parties governing all transactions related to the purchase and sale of the products described herein.

Caution: For professional use only. The installation and handling of PV modules requires professional skills and should only be performed by qualified professionals. Please read the safety and installation instructions before using the modules.

PARTNER SECTION




ANEXO B: Relatórios de configuração – Power-One Aurora Stringsizer


Edifício 1: Recepção



ABB Stringsizer™ - Relatório de Configuração

Localização	Temperatura (°C)	Amb	Célula	Método de Montagem
CONTINENTE South America	Mínimo	12°C	12°C	Montagem no telhado
PAÍS Brazil	Média	26°C	61°C	
LOCALIZAÇÃO Brasília	Máximo	30°C	65°C	

Modelo do Inversor: TRIO-27.6-TL-OUTD BASE Potência AC Nominal [kW]/ Tensão AC Nominal [V] 27600 / 400 Configuração do MPPT MPPT EM PARALELO (Número de MPPT independentes.: 1) Número total de módulos PV 91 Potência DC instalada (STC) [kW] 24570 Notas O inversor selecionado não tem fusíveis de proteção. Propõe-se em fornecer um gerador fotovoltaico com um grupo de três strings ou mais grupos de três strings em paralelo, Favor avaliar a inclusão de fusíveis de proteção de tamanho adequado	
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------

Painel FV (Fabricante / Modelo) Canadian Solar / CS6K-270P Tecnologia Potência Nominal[W] 270 Tensão de Circuito Aberto - Voc [V] 37.90 Corrente de Curto Circuito - Isc [A] 9.32 Tensão de Máxima Potência - Vmp [V] 30.80 Corrente de Máxima Potência - Imp [A] 8.75 Coefficiente de Temperatura - Voc [V/°C] -0.117 Coefficiente de Temperatura - Isc [mA/°C] 4.660	
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------

	MPPT1	MPPT2
Painel PV/String	13	n/a
Número de Strings em Paralelo	7	n/a
Número total de módulos FV	91	n/a
Notas	1, 2	n/a
Potência DC Instalada (STC) [kW]	24.57	n/a
Potência Máxima/MPPT [kW]	31.10	n/a
PPV(INST)/MPPT/IMPPTMAX	79.0%	n/a
PPV(INST)/PACR	89.0%	n/a
PPV(INST)/PACMAX	81.9%	n/a
Máxima Tensão do Sistema de Paineis FV [Vdc]	1000	n/a
Máxima Tensão de Entrada do Inversor [Vdc]	1000	n/a
Voc max @12°C [Vdc]	512.5	n/a
Voc min @65°C [Vdc]	431.9	n/a
Tensão de Ativação do Inversor (default) [Vdc]	430	n/a
Tensão de Ativação Recomendada do Inversor [Vdc]	Default (430)	n/a
Vmp max @12°C [Vdc]	416.5	n/a
Vmp typ @61°C [Vdc]	355.9	n/a
Vmp min @65°C [Vdc]	351.0	n/a
Faixa de Operação do MPPT* [Vdc]	301 - 950	n/a
Corrente Máxima de Curto Circuito do Gerador FV @65°C [Adc]	66.5	n/a
Corrente Máxima de Curto Circuito do Inversor/MPPT [Adc]	80	n/a
Corrente do MPP do gerador FV @65°C [Adc]	62.6	n/a
Corrente máxima na entrada do MPPT do Inversor[Adc]	64	n/a
Notas Explicativas	*) Faixa para o MPPT operar considerando a tensão de ativação predefinida.; 1) Número de strings em paralelo superior ao número de entradas no inversor. Oferecer uma caixa de junção(string box); 2)- Número de strings em paralelo maior do que 2. Verifique a necessidade de instalar fusíveis para proteção de corrente reversa.	


Termos e Condições de Uso: Ao usar essa ferramenta de projetos você concorda que as configurações estimadas dos strings serão usadas apenas com inversores ABB. A ABB não garante exatidão na previsão e desempenho do seu sistema FV ou do inversor ou conformidades com códigos e normas em vigor na localização do seu projeto.


Todas as configurações devem ser verificadas por um engenheiro qualificado para o cumprimento dos parâmetros operacionais e normas em vigor no local de instalação. Ao usar essa ferramenta o usuário é responsável por sua utilização e a ABB LTDA. não se responsabiliza por quaisquer danos advindos de sua utilização.



ABB Stringsizer™ - Relatório de Configuração

Localização	Temperatura (°C)	Amb	Célula	Método de Montagem
CONTINENTE South America	Mínimo	12°C	12°C	Montagem no telhado
PAIS Brazil	Média	26°C	61°C	
LOCALIZAÇÃO Brasília	Máximo	30°C	65°C	

Modelo do Inversor: TRIO-60.0-TL-OUTD DCWB	
Potência AC Nominal [kW]/ Tensão AC Nominal [V] 60000 / 480	
Configuração do MPPT MPPT EM PARALELO (Número de MPPT independentes.: 1)	
Número total de módulos PV 200	
Potência DC Instalada (STC) [kW] 54000	
Notas O inversor selecionado não tem fusíveis de proteção. Propõe-se em fornecer um gerador fotovoltaico com um grupo de três strings ou mais grupos de três strings em paralelo. Favor avaliar a inclusão de fusíveis de proteção de tamanho adequado	

Painel FV (Fabricante / Modelo) Canadian Solar / CS6K-270P	
Tecnologia	
Potência Nominal[W] 270	
Tensão de Circuito Aberto - Voc [V] 37.90	
Corrente de Curto Circuito - Isc [A] 9.32	
Tensão de Máxima Potência - Vmp [V] 30.80	
Corrente de Máxima Potência - Imp [A] 8.75	
Coefficiente de Temperatura - Voc [V/°C] -0.117	
Coefficiente de Temperatura - Isc [mA/°C] 4.660	

	MPPT1	MPPT2
Painel PV/String	25	n/a
Número de Strings em Paralelo	8	n/a
Número total de módulos FV	200	n/a
Notas	1, 2	n/a
Potência DC Instalada (STC) [kW]	54.00	n/a
Potência Máxima/MPPT [kW]	61.80	n/a
PPV(INST),MPPT/PMPTMAX	87.4%	n/a
PPV(INST)/PACR	90.0%	n/a
PPV(INST)/PACMAX	90.0%	n/a
Máxima Tensão do Sistema de Paineis FV [Vdc]	1000	n/a
Máxima Tensão de Entrada do Inversor [Vdc]	1000	n/a
Voc max @12°C [Vdc]	985.5	n/a
Voc min @65°C [Vdc]	830.5	n/a
Tensão de Ativação do Inversor (default) [Vdc]	500	n/a
Tensão de Ativação Recomendada do Inversor [Vdc]	Default (500)	n/a
Vmp max @12°C [Vdc]	800.9	n/a
Vmp typ @61°C [Vdc]	684.5	n/a
Vmp min @65°C [Vdc]	675.0	n/a
Faixa de Operação do MPPT* [Vdc]	350 - 950	n/a
Corrente Máxima de Curto Circuito do Gerador FV @65°C [Adc]	76.1	n/a
Corrente Máxima de Curto Circuito do Inversor/MPPT [Adc]	160	n/a
Corrente do MPP do gerador FV @65°C [Adc]	71.5	n/a
Corrente máxima na entrada do MPPT do Inversor[Adc]	108	n/a
Notas Explicativas	* Faixa para o MPPT operar considerando a tensão de ativação predefinida; 1) Número de strings em paralelo superior ao número de entradas no inversor. Oferecer uma caixa de junção(string box); 2) Número de strings em paralelo maior do que 2. Verifique a necessidade de instalar fusíveis para proteção de corrente reversa.	

Termos e Condições de Uso: Ao usar essa ferramenta de projetos você concorda que as configurações estimadas dos strings serão usadas apenas com inversores ABB. A ABB não garante exatidão na previsão e desempenho do seu sistema FV ou do inversor ou conformidades com códigos e normas em vigor na localização do seu projeto.

Todas as configurações devem ser verificadas por um engenheiro qualificado para o cumprimento dos parâmetros operacionais e normas em vigor no local de instalação. Ao usar essa ferramenta o usuário é responsável por sua utilização e a ABB LTDA. não se responsabiliza por quaisquer danos advindos de sua utilização.

Edifício 3: Escritórios



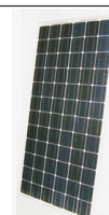
ABB Stringsizer™ - Relatório de Configuração

Localização	Temperatura (°C)	Amb	Célula	Método de Montagem
CONTINENTE South America	Mínimo	12°C	12°C	Montagem no telhado
PAÍS Brazil	Média	26°C	61°C	
LOCALIZAÇÃO Brasília	Máximo	30°C	65°C	

Modelo do Inversor: TRIO-60.0-TL-OUTD DCWB	
Potência AC Nominal [kW]/ Tensão AC Nominal [V]	60000 / 480
Configuração do MPPT	MPPT EM PARALELO (Número de MPPT independentes.: 1)
Número total de módulos PV	200
Potência DC instalada (STC) [kW]	54000
Notas	O inversor selecionado não tem fusíveis de proteção. Propõe-se em fornecer um gerador fotovoltaico com um grupo de três strings ou mais grupos de três strings em paralelo, Favor avaliar a inclusão de fusíveis de proteção de tamanho adequado



Painel FV (Fabricante / Modelo) Canadian Solar / CS6K-270P	
Tecnologia	
Potência Nominal[W]	270
Tensão de Circuito Aberto - Voc [V]	37.90
Corrente de Curto Circuito - Isc [A]	9.32
Tensão de Máxima Potência - Vmp [V]	30.80
Corrente de Máxima Potência - Imp [A]	8.75
Coefficiente de Temperatura - Voc [V/°C]	-0.117
Coefficiente de Temperatura - Isc [mA/°C]	4.660



	MPPT1	MPPT2
Painel PV/String	20	n/a
Número de Strings em Paralelo	10	n/a
Número total de módulos FV	200	n/a
Notas	1, 2	n/a
Potência DC Instalada (STC) [kW]	54.00	n/a
Potência Máxima/MPPT [kW]	61.80	n/a
PPV(INST)/MPPT/PPPTMAX	87.4%	n/a
PPV(INST)/PACR	90.0%	n/a
PPV(INST)/PACMAX	90.0%	n/a
Máxima Tensão do Sistema de Painéis FV [Vdc]	1000	n/a
Máxima Tensão de Entrada do Inversor [Vdc]	1000	n/a
Voc max @12°C [Vdc]	788.4	n/a
Voc min @65°C [Vdc]	664.4	n/a
Tensão de Ativação do Inversor (default) [Vdc]	500	n/a
Tensão de Ativação Recomendada do Inversor [Vdc]	Default (500)	n/a
Vmp max @12°C [Vdc]	640.7	n/a
Vmp typ @61°C [Vdc]	547.6	n/a
Vmp min @65°C [Vdc]	540.0	n/a
Faixa de Operação do MPPT* [Vdc]	350 - 950	n/a
Corrente Máxima de Curto Circuito do Gerador FV @65°C [Adc]	95.1	n/a
Corrente Máxima de Curto Circuito do Inversor/MPPT [Adc]	160	n/a
Corrente do MPP do gerador FV @65°C [Adc]	89.4	n/a
Corrente máxima na entrada do MPPT do Inversor [Adc]	108	n/a
Notas Explicativas	*) Faixa para o MPPT operar considerando a tensão de ativação predefinida.; 1) Número de strings em paralelo superior ao número de entradas no inversor. Oferecer uma caixa de junção(string box); 2) Número de strings em paralelo maior do que 2. Verifique a necessidade de instalar fusíveis para proteção de corrente reversa.	

Termos e Condições de Uso: Ao usar essa ferramenta de projetos você concorda que as configurações estimadas dos strings serão usadas apenas com inversores ABB. A ABB não garante exatidão na previsão e desempenho do seu sistema FV ou do inversor ou conformidades com códigos e normas em vigor na localização do seu projeto.

Todas as configurações devem ser verificadas por um engenheiro qualificado para o cumprimento dos parâmetros operacionais e normas em vigor no local de instalação. Ao usar essa ferramenta o usuário é responsável por sua utilização e a ABB LTDA. não se responsabiliza por quaisquer danos advindos de sua utilização.




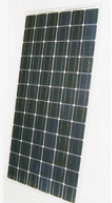
Edifício 4: Áreas Molhadas



ABB Stringsizer™ - Relatório de Configuração

Localização	Temperatura (°C) Amb Célula	Método de Montagem
CONTINENTE South America	Mínimo 12°C 12°C	Montagem no telhado
PAÍS Brazil	Média 26°C 61°C	
LOCALIZAÇÃO Brasília	Máximo 30°C 65°C	

Modelo do Inversor: TRIQ-60.0-TL-OUTD DCWB Potência AC Nominal [kW]/ Tensão AC Nominal [V] 60000 / 480 Configuração do MPPT MPPT EM PARALELO (Número de MPPT independentes.: 1) Número total de módulos PV 180 Potência DC instalada (STC) [kW] 48600 Notas O inversor selecionado não tem fusíveis de proteção. Propõe-se em fornecer um gerador fotovoltaico com um grupo de três strings ou mais grupos de três strings em paralelo, Favor avaliar a inclusão de fusíveis de proteção de tamanho adequado	
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------

Painel FV (Fabricante / Modelo) Canadian Solar / CS6K-270P Tecnologia Potência Nominal[W] 270 Tensão de Circuito Aberto - Voc [V] 37.90 Corrente de Curto Circuito - Isc [A] 9.32 Tensão de Máxima Potência - Vmp [V] 30.80 Corrente de Máxima Potência - Imp [A] 8.75 Coefficiente de Temperatura - Voc [V/°C] -0.117 Coefficiente de Temperatura - Isc [mA/°C] 4.660	
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------

	MPPT1	MPPT2
Painel PV/String	20	n/a
Número de Strings em Paralelo	9	n/a
Número total de módulos FV	180	n/a
Notas	1, 2	n/a
Potência DC Instalada (STC) [kW]	48.60	n/a
Potência Máxima/MPPT [kW]	61.80	n/a
PPV(inst)/PMPPTMAX	78.6%	n/a
PPV(inst)/PACR	81.0%	n/a
PPV(inst)/PACMAX	81.0%	n/a
Máxima Tensão do Sistema de Painéis FV [Vdc]	1000	n/a
Máxima Tensão de Entrada do Inversor [Vdc]	1000	n/a
Voc max @12°C [Vdc]	788.4	n/a
Voc min @65°C [Vdc]	664.4	n/a
Tensão de Ativação do Inversor (default) [Vdc]	500	n/a
Tensão de Ativação Recomendada do Inversor [Vdc]	Default (500)	n/a
Vmp max @12°C [Vdc]	640.7	n/a
Vmp typ @61°C [Vdc]	547.6	n/a
Vmp min @65°C [Vdc]	540.0	n/a
Faixa de Operação do MPPT* [Vdc]	350 - 950	n/a
Corrente Máxima de Curto Circuito do Gerador FV @65°C [Adc]	85.6	n/a
Corrente Máxima de Curto Circuito do Inversor/MPPT [Adc]	160	n/a
Corrente do MPP do gerador FV @65°C [Adc]	80.4	n/a
Corrente máxima na entrada do MPPT do Inversor[Adc]	108	n/a
Notas Explicativas	*) Faixa para o MPPT operar considerando a tensão de ativação predefinida.; 1) Número de strings em paralelo superior ao número de entradas no inversor. Oferecer uma caixa de junção(string box); 2)- Número de strings em paralelo maior do que 2. Verifique a necessidade de instalar fusíveis para proteção de corrente reversa.	

Termos e Condições de Uso: Ao usar essa ferramenta de projetos você concorda que as configurações estimadas dos strings serão usadas apenas com inversores ABB. A ABB não garante exatidão na previsão e desempenho do seu sistema FV ou do inversor ou conformidades com códigos e normas em vigor na localização do seu projeto.

Todas as configurações devem ser verificadas por um engenheiro qualificado para o cumprimento dos parâmetros operacionais e normas em vigor no local de instalação. Ao usar essa ferramenta o usuário é responsável por sua utilização e a ABB LTDA. não se responsabiliza por quaisquer danos advindos de sua utilização.



ANEXO C: Ferramenta Online Power-One Aurora Stringsizer

Novos recursos adicionados ao Power-One Aurora Stringsizer™

A ferramenta de dimensionamento online para inversores Power-One Aurora é aprimorada com os novos recursos a seguir:

1 - Versão amigável

Ao usar a versão "fácil de usar", a tabela de resultados fornece uma indicação da qualidade de cada configuração proposta, colorindo as células de acordo com os seguintes critérios:

Cor da célula	Significado
Laranja	Configuração não "ideal" devido a uma (ou mais) das seguintes condições: a potência instalada não está dentro da faixa de potência nominal do inversor e / ou necessidade de alterar a tensão de ativação (somente para inversores <i>string</i>).
Amarelo	Configuração não "ideal". O ponto de trabalho "típico" do gerador fotovoltaico ($V_{mp} @ T_{amb}$, média) não está na tensão nominal de entrada do inversor (nom).
Verde	Configuração "ideal". O ponto de trabalho "típico" do gerador fotovoltaico ($V_{mp} @ T_{amb}$, média) está próximo da tensão de entrada nominal do inversor (nom).

2- Capacidade de salvar a configuração

A ferramenta permite salvar todos os dados e informações de sua configuração: localização, temperaturas, método de montagem, tipo de painéis solares e dados (incluindo dados inseridos manualmente), tipo de inversor e sua configuração. O sistema irá gerar um arquivo para ser salvo no seu PC, que pode ser carregado mais tarde.

Esse recurso é particularmente útil para usuários que trabalham rotineiramente com determinados tipos de módulos, permitindo que você retome

configurações típicas e modifique-as rapidamente de acordo com a necessidade específica.

3- Coeficientes de temperatura do painel solar em dois formatos diferentes.

A ferramenta, no painel de introdução de dados do painel fotovoltaico permite introduzir os coeficientes de temperatura para corrente e tensão, tanto em percentagem (% / ° C) como em valor absoluto (V / ° C e mA / ° C). Digitar em um dos modos atualizará automaticamente o outro. A implementação do modo dual permite que você implemente facilmente todas as instruções contidas na folha de dados técnicos dos módulos.

Termos e Condições de Uso:

Ao usar esta ferramenta de projeto, você concorda que é para estimar as configurações de *string* que podem ser usadas apenas com os inversores Power-One Aurora. A Power-One não faz nenhuma reivindicação quanto à sua precisão em prever o desempenho real do seu sistema fotovoltaico ou do inversor ou a sua conformidade com os códigos e normas em vigor no local do seu projeto.

Todas as configurações devem ser duplamente verificadas por um engenheiro qualificado para conformidade com os parâmetros operacionais do inversor, e códigos elétricos e regulamentos em vigor no local de instalação. Ao usar essa ferramenta, o usuário indeniza a *Power-One inc.* de todos e quaisquer danos consequentes decorrentes de seu uso.

Layout do site online para inversores *Power-One Aurora*.

